

30-0031/2-001

Neue Bezeichnung: INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ
INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTÁSY

30-0031/2: 001

TEIL 2

VERSUCHE ZUM VERFORMUNGSVERHALTEN UND ZUR
TRAGFÄHIGKEIT VON STAHLBETONBALKEN
UNTER BIEGUNG UND LANGZEITIG EINWIRKENDEM
ZWANG INFOLGE AUFLAGERVERSCHIEBUNG

Abschlußbericht
erstattet von

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. K. Kordina
Prof. Dr.-Ing. F. S. Rostásy
Dipl.-Ing. B. Svensvik

BIBLIOTHEK
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52
D-3300 Braunschweig

Braunschweig, Juli 1979

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG
- 1.1 Problemstellung
- 1.2 Versuchsprogramm

2. VERSUCHSKÖRPER

3. BAUSTOFFE
- 3.1 Zement
- 3.2 Zuschläge
- 3.3 Beton
- 3.4 Betonstahl

4. VERSUCHSAUFBAU

5. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

6. VERSUCHSERGEBNISSE
- 6.1 Bruchverhalten
- 6.2 Rißbildung
- 6.3 Durchbiegungen
- 6.4 Beton- und Stahldehnungen

7. VERÄNDERUNG DER SCHNITTGRÖSSEN UND AUFLAGERKRÄFTE

8. ZUSAMMENFASSUNG UND FOLGERUNGEN

9. LITERATURVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG

1.1 PROBLEMSTELLUNG

Erfahrungsgemäß sind die i.d.R. statisch unbestimmt gestützten Stahlbetontragwerke neben Beanspruchungen infolge von Lasten auch noch solchen infolge von Zwang ausgesetzt. Zwangsschnittgrößen entstehen immer dann, wenn dem Tragwerk Verformungen aufgezwungen werden, denen dieses nicht frei, also zwanglos folgen kann. Häufige Ursachen von Zwang sind Temperaturunterschiede, Setzung, u.a.m. Zahlreiche Bauschäden in den vergangenen Jahren sind auf Zwangwirkungen zurückzuführen. Aus diesem Grund wird zunehmend an der Erforschung von Zwangproblemen bzw. an der rechnerischen Erfassung und konstruktiven Berücksichtigung von Zwang gearbeitet.

Bei der Berechnung von Lastschnittgrößen wird i.d.R. von der E-Theorie und den Steifigkeiten des ungerissenen Zustandes I ausgegangen, obgleich bereits im Gebrauchslastbereich mit Rissen zu rechnen ist. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Rißbildung und die damit verbundene, bereichsweise Steifigkeitsverminderung nur einen geringen Einfluß auf die Größe und Verteilung der Lastschnittgrößen ausübt. Aus diesem Grund ist gegen die Annahme von Zustand I bei der Schnittgrößenermittlung sowohl im Gebrauchs- als auch im rechnerischen Bruchzustand wenig einzuwenden.

Im Gegensatz dazu, ist es für die Ermittlung von Zwangsschnittgrößen bzw. von unter der Kombination von Last und Zwang entstehenden Schnittgrößen unerlässlich, von der tatsächlichen Steifigkeitsverteilung auszugehen, wenn man eine grobe Fehleinschätzung der Gebrauchsschnittgrößen und der Rißbreiten vermeiden will. Dies gilt u.a. dann, wenn sich bereits Teilbereiche des Tragwerkes im Zustand II befinden. Bei reiner Zwangbeanspruchung stellt die Bemessung einen Nachweis der Beschränkung der Rißbreiten dar. Hierzu gibt es bereits eine Reihe von Verfahren [1 bis 6, 10, 11].

Im Regelfall des gemeinsamen Auftretens von Last und Zwang ist der Bemessungsweg deutlich verwickelter, weil sich sowohl die Last- als auch die Zwangsschnittgrößen gemeinsam und untrennbar auf die Rißbildung und damit auf die Biegesteifigkeit auswirken. Die Praxis benötigt für dieses Problem einfache Rechenverfahren. Kordina [7] und Tennstedt [8] haben vorgeschlagen, die Kombination Last + Zwang mit abschnittsweise reduzierten wirksamen Biegesteifigkeiten zu erfassen. Dieser Weg fand Eingang in das DAfStb-Heft Nr. 240 [9], er gilt allerdings nur für einen kurzzeitig einwirkenden Zwang.

Neben kurzzeitigen Zwangswirkungen gibt es auch solche, die sich langsam aufbauen - Beispiel "Schwindzwang"-, oder auch solche, die sich rasch entwickeln, und dann lange einwirken. Hier ist eine große Vielfalt im zeitlichen Ablauf der zwangerzeugenden Verformungen denkbar.

Der Teil 2 des vorliegenden Forschungsberichtes befaßt sich mit dem Verhalten von einseitig eingespannten Einfeldbalken, die nach Vorbelastung durch die Gebrauchslast eine plötzliche, aber dann lange einwirkende Auflagerverschiebung erfahren. Es sollte der Frage nachgegangen werden, in welchem Maße die Biegesteifigkeit und damit der Setzungszwang durch zeitabhängige Verformungen in der Betondruckzone und im Verbundbereich Bewehrungsstahl-Beton beeinflusst werden. Der Teil 2 stellt eine Fortführung von Teil 1 dar, der sich mit dem kurzzeitig einwirkenden Zwang auseinandersetzt.

1.2 VERSUCHSPROGRAMM

Zur Ergänzung und Überprüfung der in [8] auf rechnerischem Wege gewonnenen Ergebnisse sollten für einige ausgewählte Beanspruchungsfälle Versuche an Stahlbetonbalken vorgenommen werden, um die wirkliche Größe der Biegemomente bei kombinierter Beanspruchung infolge Last und Zwang unter Kurz- und Langzeiteinwirkung zu ermitteln.

Für die Versuche wurden Stahlbeton-Rechteckbalken gewählt, die an einem Ende frei drehbar aufgelagert und am anderen Ende in einem Stahlbetonblock eingespannt waren. Bild 1.1 zeigt das statische System und die Schnittgrößen.

Die Balken sollten im Alter von 28 Tagen in Stufen bis zur Gebrauchslast belastet werden, die ohne Berücksichtigung des Zwanges bestimmt wurden. Dann sollten die Balken einem Biegezwang ausgesetzt werden, indem am freien Auflager eine lotrechte Stützenverschiebung aufgezwungen und über rund 4 Monate aufrechterhalten wurde. Die sich einstellenden Reaktionen, Schnittkräfte, Verformungen und Risse sollten zeit- und beanspruchungsabhängig gemessen werden. Es waren insgesamt acht Balken zu prüfen.

Im Rahmen der zur Verfügung stehenden Mittel konnten nur wenige Versuchsparameter variiert werden. Bei fester Größe der Auflagerverschiebung von 2 cm, wurde deren Richtung variiert, um den Einfluß des Vorzeichens der Zwangsmomente zu studieren: 4 Balken mit $\Delta = + 2 \text{ cm}$, 4 Balken mit $\Delta = - 2 \text{ cm}$.

Da im Zustand II die Biegesteifigkeit und damit die Größe des Zwanges vom Bewehrungsgrad nachhaltig beeinflusst wird, wurde eine aus 4 Balken bestehende Gruppe mit niedrigen Bewehrungsgraden in den maßgebenden Schnitten und eine andere, wieder aus 4 Balken bestehende Gruppe mit hohen Bewehrungsgraden bewehrt. Die zugehörigen Gebrauchslasten verhalten sich ungefähr wie 1:2.

Außerdem wurde bei sonst gleicher Bewehrung und gleichgerichteter Verschiebung die Bewehrungsaufteilung variiert, indem der Bewehrungsgrad im Bemessungsschnitt zum einen mit wenigen dicken, zum anderen mit mehreren dünnen Stäben dargestellt wurde. Durch diese Maßnahme sollte der Einfluß des Verbundparameters d_e/μ auf die Rißbildung und Steifigkeit studiert werden.

Tabelle 1.1 gibt eine Übersicht über die Versuchskörper bzw. -balken, und die Parameter.

2. VERSUCHSKÖRPER

Die Versuchsbalken besaßen einen Rechteckquerschnitt von $b/d = 35/40$ cm. Die Stützweite betrug 5,00 m, so daß sich eine praxisübliche Schlankheit $l/d = 12,5$ ergab.

Wie aus Bild 2.1 zu ersehen ist, umfaßt ein Versuchskörper, der die Form einer Gabel besitzt, zwei Versuchsbalken. Diese sind durch einen massiven Einspannblock miteinander verbunden, in den sie voll eingespannt sind. Durch die gewählte Form des Versuchskörpers ist es möglich, zwei Balken gleichzeitig zu prüfen. Beiden Balken wird die identische Auflagerverschiebung nach Größe und Richtung aufgezwungen.

Die beiden Balken eines Versuchskörpers sind bezüglich der Bewehrungsgrade μ_F und μ_E und der Bewehrungsführung identisch. Sie unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der Stabdurchmesser der Biegebewehrung bei sonst gleichen Bewehrungsgraden (s. Tab. 1.1).

Insgesamt wurden vier Versuchskörper, also acht Einzelbalken, hergestellt. Es wurden folgende Bezeichnungen gewählt: B III, B IV, B V und B VI. Die Bewehrungspläne der Versuchskörper sind in den Bildern 2.2 bis 2.4 dargestellt. Es wurde die Betonfestigkeitsklasse B 25 bei der Prüfung im Alter 28 d angestrebt. Die Bewehrung bestand aus BSt 420/500 RK (Rippenstahl).

Die Versuchskörper B III und B IV besaßen im Einspannbereich den Bewehrungsgrad $\mu_E \approx 0,8 \%$ und im Feldbereich betrug - entsprechend der Momentenverteilung infolge der beiden Einzellasten in den Drittelpunkten - $\mu_F \approx 0,55 \%$. Der obere Balken wurde mit Bewehrungsstäben $\emptyset 10$ und $\emptyset 12$ und der untere mit Stäben $\emptyset 22$ mm bewehrt.

Die Versuchskörper B V und B VI erhielten im Einspannbereich $\mu_E \approx 1,78 \%$ und im Feldbereich $\mu_F \approx 0,89 \%$. Auch hier wurden im oberen und unteren Balken unterschiedliche Stabdurchmesser gewählt. Der obere Balken wurde mit Stäben $\varnothing 20$ mm und der untere mit $\varnothing 28$ mm bewehrt. Weiter wurde bei der Festlegung der Gebrauchslasten das Eigengewicht der Balken und der Versuchseinrichtung vernachlässigt.

Unter Gebrauchslast blieb die Schubbeanspruchung der Versuchskörper B III und B IV im Schubbereich 1, so daß lediglich eine konstruktive Bügelbewehrung $\varnothing 8$, $a = 20$ cm über die ganze Balkenlänge eingelegt werden mußte. Bei den Versuchskörpern B V und B VI wurde im Einspannbereich der Schubbereich 2 erreicht. Hier wurde dann eine Bügelbewehrung mit $\varnothing 8$, $a = 20$ cm und $\varnothing 10$, $a = 10$ cm gewählt.

Tabelle 2.1 enthält die zu den gewählten Bewehrungsgraden gehörenden Rechenwerte. Die Werte $k_{rit M}$ und $k_{rit P}$ sind die Rechenwerte nach DIN 1045, die mit den Nennfestigkeitswerten bestimmt wurden. Die Werte M_{UR} bzw. P_{UR} sind die rechnerischen Bruchlastgrößen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Baustoffeigenschaften. Sämtliche Werte wurden nach Traglastüberlegungen ermittelt. Die Werte M_{UV} und P_{UV} sind die im Versuch beim Versagen gemessenen Größen.

3. BAUSTOFFE

3.1 ZEMENT

Es wurde ein Portlandzement PZ 35 F vom Werk Teutonia verwendet. Der Zementbedarf für die ganze Versuchsserie stammte aus einer Lieferung und wurde in Fässern gelagert. Es wurde eine Zementgüteprüfung nach DIN 1164 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tab. 3.1 und 3.2 aufgeführt.

3.2 ZUSCHLÄGE

Die Betonzuschläge stammten aus zwei verschiedenen Gruben aus dem Braunschweiger Raum, Korngruppe 0/1 mm aus Abbesbüttel und die Korngruppen 0/31,5 mm aus Sonnenberg. Die Sieblinien und Durchgangs-Prozentzahlen sind in den Tab. 3.3 bis 3.6 angegeben. Die Zuschläge für die ganze Versuchsserie stammten jeweils aus einer Lieferung der beiden Gruben.

Es wurde eine petrographische Analyse der Zuschlagstoffe durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab. 3.7 enthalten.

3.3 BETON

Für alle Versuchskörper wurde das gleiche Betonrezept verwendet. Die Zusammensetzung des Betons ist in Tab. 3.8 angegeben. Für die Betonverdichtung wurde ein Innenrüttler \varnothing 38 mm verwendet. Die Verdichtungszeit betrug 30 s.

Die Würfelfestigkeit wurde an Würfeln $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ nach 7, 28 und 120 Tagen bestimmt. Die Biegezugfestigkeit wurde an Balken $15 \times 15 \times 70 \text{ cm}^3$, die Zylinderdruckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit an Zylindern \varnothing 15 cm, $h = 30 \text{ cm}$ nach 28 und 120 Tagen und die Prismendruckfestigkeit an Prismen $15 \times 15 \times 70 \text{ cm}^3$ nach 28 Tagen ermittelt.

Der Elastizitätsmodul wurde in Anlehnung an DIN 1048, Blatt 3 an Zylindern \varnothing 15 cm, $h = 30 \text{ cm}$ im Alter von 28 Tagen bestimmt. Die Ergebnisse der Prüfungen sind in Tab. 3.9 zusammengestellt.

Da es sich hier um Langzeitversuche handelte, war es notwendig, das Schwind- und Kriechverhalten des Betons zu erfassen. Dieses wurde an zylindrischen Schwind- und Kriechkörpern \varnothing 20 cm, $h = 80 \text{ cm}$ gemessen.

Die Dehnungen wurden an vier gegenüberliegenden Meßstrecken mit 50 cm Basislänge mit einem Setzdehnungsmesser gemessen. Die Kriechkörper wurden mit einer konstanten Last entsprechend ein Drittel der Prismenfestigkeit über vier Monate belastet.

Nach Beendigung der Versuche wurden auch diese Probekörper zum Bruch gebracht. Die Ergebnisse der Prüfungen sind in den Bildern 3.1 bis 3.8 dargestellt.

Sowohl die Versuchskörper als auch die Probekörper wurden nach dem Betonieren sieben Tage unter feuchten Tüchern nachbehandelt. Anschließend wurden sie im Normklima 20/65 gelagert.

3.4 BETONSTAHL

Die Festigkeits- und Verformungseigenschaften des verwendeten Betonrippenstahles BSt 420/500 RK, Werk Salzgitter sind in Tab. 3.10 zusammengestellt.

4. VERSUCHSAUFBAU UND MESSUNGEN

Bild 4.1 zeigt den Versuchsaufbau. Der Einspannanteil des Versuchskörpers wurde verdrehbar mittels zwei dicker Stahlplatten und einem dazwischen liegenden Halbrundprofil mittig auf einen Betonklotz gelegt.

Das freie Ende des unteren Balkens wurde über eine stählerne Unterkonstruktion frei drehbar und verschieblich auf dem Hallenboden gelagert. Die Unterkonstruktion war so gestaltet, daß in sie eine Kraftmeßdose eingeschoben werden konnte, mit der die Auflagerkräfte gemessen wurden. Vor dem Aufbringen der äußeren Kräfte wurden die beiden freien Enden über eine Spannstange $\varnothing 26,5$ mm, St 850/1050 zugfest und schlupffrei, jedoch ohne Vorspannung miteinander verbunden. Der Querschnitt der Spannstange war so groß gewählt worden, daß mit ausreichender Genauigkeit eine starre Stützung vorlag. Dies wurde durch eine Messung des inneren Abstandes zwischen den Balken kontrolliert.

Die Belastung der Balken in den Drittelpunkten erfolgte durch zwei Prüfzylinder. Um eine gelenkige, also eine pendelstabartige Krafteinleitung zu erzielen, wurden an beiden Enden eines jeden Prüfzylinders Kugelkalotten zwischengeschaltet. Beide Prüfzylinder wurden von einem Amsler-Steuerstand versorgt.

Nach dem Aufbringen der Gebrauchslast wurde diese über Preßluftflaschen konstant gehalten.

Das Aufbringen der positiven Stützenverschiebung erfolgte durch eine Hohlkolbenpresse über das herausragende Spannstabende. Das Aufzwingen der negativen Verschiebung erfolgte durch Nachlassen über dem Hohlkolben. In beiden Fällen wurden die äußeren Lasten konstant gehalten.

An den in den Ecken des Rechteckquerschnittes liegenden Bewehrungsstäben wurden an vier Stellen, - an der gelenkigen Auflagerung, in den Drittelpunkten, und an der Einspannstelle Dehnmeßstreifen vom Typ Hottinger, LY 11, mit der Meßlänge 6 mm, angeklebt. Die Anordnung der Dehnmeßstreifen ist auf Bild 4.2 dargestellt. Die Dehnmeßstreifen wurden an einem Kompensator und Meßverstärker mit 80 Meßstellen von der Firma Hottinger-Baldwin-Meßtechnik angeschlossen.

An beiden Seitenflächen der Balken, oben und unten in Schwerpunkthöhe der Stahleinlagen, wurden Meßpunktzeilen für die Messung der Betondehnungen mit Setzdehnungsmesser vorgesehen. Die Basislänge des SDM betrug 200 mm. Die Anordnung der Meßstellen ist auf Bild 4.3 angegeben. Zur Messung wurde ein automatisch registrierender Setzdehnungsmesser eingesetzt.

Zur genauen Einstellung der gewählten Stützenverschiebung und zur Kontrolle des konstant zu haltenden Abstandes zwischen den beiden gelenkigen Auflagern, wurde eine Meßuhr mit einem Meßweg 50 mm und einer Teilung von 1/100 mm eingesetzt. Vier weitere Uhren vom gleichen Typ wurden zur Messung der Durchbiegungen in den Drittelpunkten der Balken verwendet.

Für die zeichnerische Übertragung der entstehenden Risse wurden die Balken mit einem Raster, wie aus Bild 4.4 zu entnehmen, versehen.

5. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Ausgehend von einer Nullmessung im unbelasteten Zustand wurden die Versuchskörper in mehreren Stufen bis zur Gebrauchslast belastet.

Bei den Versuchskörpern B III und B IV wurden folgende Laststufen aufgebracht: 10; 20; 30; 40 und zul $P = 51,7$ kN. Bei den Versuchskörpern B V und B VI: 20; 40; 60; 80 und zul $P = 97$ kN.

Hierauf folgte dann eine Laststufe "Gebrauchslast und Stützensenkung". Der Lastfall Stützensenkung wurde bei den Versuchskörpern B III und B V dadurch aufgebracht, daß die beiden gelenkigen Auflagerpunkte des oberen und des unteren Balkens mit Hilfe der Hohlkolbenpresse um 4 cm zusammengezogen wurden. Nach Bild 1.1 ist diese Verschiebung je Balken von $4,0/2 = 2$ cm eine positive Stützenverschiebung. Hierdurch wurde eine Verringerung der Stützmomente bzw. eine Vergrößerung der Feldmomente bewirkt.

Bei den Versuchskörpern B IV und B VI wurde eine negative Stützenverschiebung aufgezwungen. Es wurden die gelenkig gelagerten Balkenenden um 4 cm auseinander gedrückt. Während dieser Vorgänge wurden die Einzellasten konstant auf Höhe der Gebrauchslast gehalten.

Nach Erfassung sämtlicher Meßdaten in dieser Laststufe wurde auf die Konstanthaltung mittels Preßluft umgeschaltet, um auf diese Weise die Lastbeanspruchung rund 4 Monate konstant zu halten.

Der zeitliche Abstand der Meßtermine wurde so gewählt, daß im logarithmischen Zeitmaßstab die Zwischenräume etwa gleich groß waren. Zu Beginn wurde also häufiger gemessen und später entsprechend seltener, da man ein Abklingen der zeitabhängigen Einflüsse erwarten konnte.

Nach Beendigung der Langzeitbeobachtungen wurden die Pressen zur Erzeugung der Einzellasten wieder am Steuerpult angeschlossen. Die Lastbeanspruchung wurde dann in Stufen bis zum Bruch erhöht.

Die Erfassung der Meßdaten erfolgte jeweils zwei Minuten nach Erreichen der Laststufe. Der Ablauf der Messungen war wie folgt:

- 1.) Messung der Durchbiegungen und des Abstandes der gelenkig gelagerten Balkenenden.
- 2.) Messung der Stahldehnungen mit DMS.
- 3.) Messung der Auflagerkraft.
- 4.) Messung der Betondehnungen.
- 5.) Anzeichnen der Risse und Messung der Rißbreiten mit einer Meßlupe mit 1/100 mm Teilung.

Eine Zusammenstellung der Laststufen befindet sich in den Tab. 5.1 und 5.2.

Parallel zu der Datenerfassung an den Biegezwangsbalken wurden die Messungen an den Kriech- und Schwindkörpern durchgeführt. Außerdem wurden an den festgelegten Zeitpunkten die Festigkeitswerte des Betons ermittelt.

6. VERSUCHSERGEBNISSE

6.1 Bruchverhalten

Bei sämtlichen vier Versuchskörpern trat ein Biegebruch infolge Fließens der Stahleinlagen ein. Bei den Versuchskörpern mit der positiven Auflagerverschiebung (Zusammendrücken der Balkenenden), B III und B V, floß zuerst die Bewehrung an der Stelle des größten Feldmomentes des unteren Balkens (Schnitt 6; s. Bild 4.2).

Bei den Versuchskörpern mit der negativen Auflagerverschiebung (Auseinanderdrücken der Balkenenden), B IV und B VI, versagte die Bewehrung durch gleichzeitiges Fließen in den Schnitten 2, 4, 6 und 8, d.h. sowohl im Feld als auch an der Einspannung des oberen und des unteren Balkens.

Die gemessene Bruchlast erwies sich als i.w. von der Richtung der aufgetragenen Auflagerverschiebung unabhängig. Für die schwächer bewehrten Versuchskörper B III und B IV betrug die Bruchlast $P_{UV} = 120 \text{ KN}$ ($P_{UV}/\text{zul } P = 2,30$); für die stärker bewehrten Versuchskörper B V und B VI, $P_{UV} = 200 \text{ KN}$ ($P_{UV}/\text{zul } P = 2,06$). Die rechnerischen Biegebruchlasten P_u wurden deutlich überschritten. Eine Abminderung der Biegetragfähigkeit der ohne Berücksichtigung der Auflagerverschiebung bemessenen Balken trat durch die Auflagerverschiebung nicht ein.

6.2 Rißbildung

6.2.1 Vorbemerkung

Zur Klärung des Verhaltens der Balken unter dem langandauernden Zwang wurden sehr umfangreiche Messungen der Rißbreiten, der Entwicklung der Risse, usw. durchgeführt.

Die Rißbilder der Versuchskörper sind in den Bildern 6.1 bis 6.84 aufgetragen. In diesem Bericht sind aus Platzgründen nur die wichtigsten Rißbilder aufgenommen, - und zwar für die Laststufen $\text{zul } P$, $\text{zul } P + \Delta$, $\text{zul } P + \Delta + t_E$ und P_{UV} . Die vollständige Zusammenstellung der Rißbilder befindet sich im Anlagenteil 1. Für jeden Versuchskörper getrennt wurde dabei das Rißbild für verschiedene Laststufen auch unter Einschluß der Dauerbelastung dargestellt. Ein beliebiges Rißbild enthält den Ausgangszustand zu Beginn der Laststufe (durchgezogene Striche) und die während der Laststufe neu hinzugetretenen Risse oder Verlängerungen von Rissen (gestrichelte Linien). Zum Stadium der Rißbilder sind die Tab. 5.1 und 5.2 notwendig, die die Lastzustände und Beobachtungszeitpunkte sowie Be-

zeichnungen der Laststufen enthalten,

Für die nachfolgende Diskussion der Versuchsergebnisse sei noch einmal auf die Versuchsparameter hingewiesen. Tab. 6.1 enthält eine Übersicht der Balken, deren Bewehrungen und die Verbundparameter. Der mittlere Rißabstand a_m nimmt bekanntlich mit zunehmendem Stabdurchmesser und abnehmendem Bewehrungsgrad zu. Durch den Verbundparameter d_e/μ ($a_m \sim d_e/\mu$) soll der Einfluß von d_e und μ studiert werden.

Zunächst werden die Balken mit der gleichen Auflagerverschiebung besprochen. In den Bildern 6.85 u. ff. werden die wesentlichen Ergebnisse der Rißbildung dargestellt. Die maßgebenden Rißmeßlinien sind die Schwerlinien der oberen bzw. unteren Längsbewehrung auf den Balkenseitenflächen, als Fasern bezeichnet. Unter positiver Faser ist jene Rißmeßlinie zu verstehen, in der die positiven Feldmomente Zug erzeugen. Die negative Faser gehört dementsprechend zum Bereich der negativen Momente (Einspannbereich). Die in den Bildern angegebenen Meßwerte der Rißzahl, Rißbreite u.s.w. sind Mittelwerte der Werte der Vorder- und Rückseite eines Balkens:

6.2.2 Verhalten der Versuchskörper B III und B V

Die ersten Biegerisse entstanden im Einspannquerschnitt, i.d.R. deutlich unter zul P. Die Entwicklung der Zahl der Risse in Abhängigkeit von Last und Zeit zeigen die Bilder 6.85 und 6.86 sowie 6.101 und 6.102. Die positive Auflagerverschiebung, mit der mit ihr verbundenen Steigerung der Feldmomente, führt zu einer spontanen Vergrößerung der Rißzahl in der positiven Faser. Beide Versuchskörper zeigen unter Dauerzwang eine Zunahme der Anzahl der Risse. Man würde erwarten, daß die Rißzahl umso größer wird, je kleiner der Verbundparameter d_e/μ ist. Dies ist jedoch nicht ablesbar.

Die Entwicklung der Rißbreiten abhängig von Last und Zeit ist in den Bildern 6.87 bis 6.92 bzw. in den Bildern 6.103 bis 6.108 dargestellt. Die mittleren Rißbreiten steigen mit d_e/μ an. Die Zeit der Zwangeinwirkung schlägt sich unterschiedlich nieder. Beim schwächer bewehrten Balken B III nehmen die Rißbreiten unter Dauerzwang deutlich zu. Beim Balken B V ist dies für w_m nicht ausgeprägt, jedoch die größte Rißbreite und die Rißbreitensumme steigen ebenfalls mit der Zeit an. In den Beträgen von w_m und $\max w$ sind die Einflüsse von μ bzw. d_e/μ zu erkennen: Die Rißbreite nimmt mit Zunahme von d_e/μ ebenfalls zu. Der stärker bewehrte Versuchskörper B V weist verglichen mit B III die schmälere Risse auf; jedoch die bezogene zeitliche Zunahme ist größer. Beim steiferen Balken B V bleibt der Zwang länger "stehen", d.h. die Dauerzugbeanspruchung wirkt länger auf den Beton ein.

6.2.3 Verhalten der Versuchskörper B IV und B VI

Die Entwicklung der Zahl der Risse zeigen für B IV die Bilder 6.93 und 6.94, bzw. für B VI die Bilder 6.109 und 6.110. Die negative Auflagerverschiebung mit ihrer Steigerung des Stützmomentes führt zu einer Vergrößerung der Rißzahl in der negativen Faser, v.a. verglichen mit B III und B V. In der positiven Faser ist dadurch im Vergleich eine Verringerung gegeben. Der stärker bewehrte Versuchskörper B VI weist eine etwas größere Rißzahl als B IV auf. Unter dem Dauerzwang nimmt die Zahl der Risse zu. Beim schwächer bewehrten Versuchskörper B IV ist das Rißbild bereits vor dem Bruchversuch voll ausgeprägt.

Die Rißbreiten sind in den Bildern 6.95 bis 6.100 bzw. in den Bildern 6.111 bis 6.116 dargestellt. Durch das Aufbringen des Zwanges werden w_m und $\max w$ in der negativen Faser spontan gesteigert. Die zeitliche Entwicklung der Rißbreiten erfolgt recht ungleichmäßig. In der negativen Faser nimmt $\max w$ zu, in der positiven i.d.R. auch, jedoch nur wenig ausgeprägt. Der Versuchsparameter d_e/μ wirkt sich in der maximalen Rißbreite umgekehrt als erwartet aus. Auch der Be-

wehrungsgrad spielt eine geringere Rolle.

6.2.4 Verhalten ausgewählter Risse

In den Bildern 6.117 bis 6.120 ist für jeden der Versuchskörper jeweils getrennt für den oberen und unteren Balken, das Verhalten der Hauptrisse im ersten Drittelpunkt bzw. im Einspannquerschnitt dargestellt. In diesen Schnitten treten die größten Rißbreiten $\max w$ auf. In der Darstellung der zeitlichen Entwicklung von $\max w$ entspricht der Zeitraum bis $1 d$ der Aufbringung der äußeren Last bis zu $z_{ul} P$. Zum Zeitpunkt $1 d$ wurde die Auflagerverschiebung aufgebracht.

Bei positiver Auflagerverschiebung und der damit verbundenen Vergrößerung der Feldmomente (B III und B V), nimmt bei Aufbringen von $(+)$ Δ die größte Rißbreite im Feld zu und die an der Einspannung ab. Im Laufe der Zeit werden die Risse breiter, insbesondere im Einspannquerschnitt infolge Rückverlagerung der Momente.

Bei negativer Auflagerverschiebung (B IV und B VI) nimmt die Rißbreite im Einspannquerschnitt bei B IV deutlich, beim stärker bewehrten B VI kaum zu. Im Laufe der Zeit nimmt die Rißbreite in allen Querschnitten zu.

6.3 Durchbiegungen

Die Bilder 6.121 und 6.122 zeigen die Biegelinien der Versuchskörper für einige Laststufen.

Es fällt auf, daß die Versuchskörper mit der stärkeren Biegebewehrung eine größere Durchbiegung aufweisen und daß der Unterschied mit zunehmender Belastung größer wird. Der rund doppelt so große Biegebewehrungsgrad von B V gegenüber B III, bzw. von B VI gegenüber B IV schlägt sich in der Biegesteifigkeit nur untergeordnet nieder. Die Durchbiegungen verhalten sich kurz vor dem Bruch etwa wie die aufgebrachte Last P .

6.4 Beton- und Stahldehnungen

Die Beton- und Stahldehnungen wurden in den Meßlinien und Meßquerschnitten, die in den Bildern 4.2 und 4.3 dargestellt sind, in Abhängigkeit von Last und Zeit gemessen. Die sehr umfangreichen Meßdaten sind im Anlagenteil 2 zu diesem Bericht zusammengestellt.

Es ist im Rahmen dieses Berichtes nicht möglich, die Dehnungsmessungen einer umfänglichen Diskussion zu unterziehen. Dies soll einer weiteren wissenschaftlichen Arbeit vorbehalten bleiben.

Es ist jedoch vorab möglich, das charakteristische Verhalten der Versuchskörper anhand der Stahl- und Betondehnungen in folgenden Schnitten zu beleuchten:

- a) Vorderer Drittelpunkt und
- b) Einspannquerschnitt.

In diesen Schnitten treten die Größtwerte der Dehnungen auf, und es ist möglich, dort die Einflüsse von Last, Auflagerverschiebung und Zeit der Einwirkung zu studieren.

Die Stahldehnungen in der positiven Balkenfaser zeigen stets die dem Vorzeichen der Auflagerverschiebung zugehörige Zu- bzw. Abnahme der Dehnung im Zustand II infolge zul P an. Der Dauerzwang baut die Veränderung $\Delta \epsilon_e(\Delta, 0)$ im Laufe der Zeit ab. Die steiferen Balken reagieren ausgeprägter auf Δ .

Die den Stahlzugdehnungen im Meßquerschnitt gegenüberliegenden Betondruckdehnungen erfahren ebenfalls durch die Auflagerverschiebung die erwarteten Veränderungen $\Delta \epsilon_p(\Delta, 0)$, jedoch in geringerem Maße als der Stahl. Die wesentliche Veränderung ist zeitabhängig. Unter Dauerzwang treten zusätzliche Kriechdehnungen von - 0,5 bis - 1 ‰ auf.

7. VERÄNDERUNGEN DER SCHNITTGRÖSSEN UND AUFLAGERKRÄFTE

7.1 Veränderung der Auflagerkräfte

In den Bildern 7.1 bis 7.4 sowie in den Tab. 7.1 bis 7.4 sind die gemessenen und gerechneten bezogenen Werte der Auflagerkraft $A/2P$ des freien Endes in Abhängigkeit von der Last aufgetragen. Die rechnerischen Werte wurden nach der E-Theorie unter Vernachlässigung des Zeiteinflusses bestimmt. Dabei wurde zum einen mit der Biegesteifigkeit des Zustandes I $K_B = E_b I_b$, zum anderen mit einer abgeminderten Biegesteifigkeit gerechnet. Der Abminderungsfaktor c wurde in Abhängigkeit von den Bewehrungsgraden nach [9] bestimmt. Er beträgt für die Versuchskörper:

B III und B IV und für	$c = 0,680$	$K_w = c K_B$
B V und B VI	$c = 0,778$	$K_w = c K_B$

mit A_p , der Auflagerkraft infolge P , und A_z , der Auflagerkraft infolge Auflagerverschiebung, erhält man:

$$\frac{A}{2P} = 0,333 + \frac{A_z (K_w)}{2P}$$

wobei

$$A_z = \frac{3\Delta \cdot K_w}{l^3}$$

Bedingt durch die Rißbildung und die damit verbundenen Umlagerungen sind im Bereich reiner Lastbeanspruchungen gewisse Abweichungen von der rechnerischen 0,333-Linie gegeben, die jedoch mit steigender Last klein werden. Hinzu kommen gewisse Nachgiebigkeiten in den Verankerungen der Spannstange etc.

Grundsätzlich wird bei keinem der Versuchskörper die rechnerische Linie des Zustandes I mit $c = 1$ nach Aufbringen der Auflagerverschiebung erreicht. Beim Vergleich der

Versuchskörper B III und B V (+ Δ) bzw. B IV und B VI (- Δ) ist die unterschiedliche Bewehrung der Balken zu beachten, die sich natürlich in unterschiedlichen Lasten z ul P usw. äußert.

Bei positiver Verschiebung, Versuchskörper B III und B V, wird auch die rechnerische Linie für $K_w = c K_B$ nicht erreicht. Der zeitabhängige Abfall von A_z , ausgedrückt durch $\Delta A_z(t)$ stellt sich beim schwächer bewehrten Versuchskörper B III größer ein. Bei der anschließenden Bruchbelastung verschwindet der Zwangeinfluß in der Auflagerkraft fast vollständig.

Bei einer negativen Auflagerverschiebung erreicht bei Zwangaufbringung die Auflagerkraft A_z die mit $K_w = c \cdot K_B$ gerechnete Linie. Auch hier fällt A_z infolge des Zeiteinflusses sowie bei weiterer Laststeigerung ab; A nähert sich A_p . Ansonsten gelten die für + Δ gemachten Feststellungen.

Die Bilder 7.5 bis 7.8 zeigen den Einfluß der Zeit auf die Auflagerkraft ab dem Zeitpunkt der Zwängung. Der Abfall des Zwängungsanteiles in der Auflagerkraft infolge zeitabhängiger Verformungen ist deutlich.

7.2 Veränderung der Schnittkräfte

Auf den Bildern 7.9 bis 7.16 ist für die einzelnen Versuchsträger das Verhältnis M_{St}/M_F aufgetragen. Dieses Verhältnis beträgt bei reiner Lastbeanspruchung nach E-Theorie 1,5. Dem gemessenen Verhältnis ist das rechnerische, mit $c = 0,68$ bzw. 0,778 bestimmt, gegenübergestellt worden. Da im Bereich reiner Lastbeanspruchung, $p < z$ ul P, aus den bereits erwähnten Gründen, die gemessene Auflagerkraft gewissen Schwankungen unterlag, erfolgt die Auftragung der Versuchswerte erst ab p/z ul P = 1. Sämtliche rechnerischen und gemessenen Werte sind in den Tab. 7.1 bis 7.4 enthalten. Bei den rechnerischen Linien wurde nur noch mit den abgeminderten Biegesteifigkeiten

$K_w = c K_b$ gerechnet. Die im Versuch gemessenen Verhältnisse M_{St}/M_F liegen stets deutlich unter den mit $K_w = c K_b$ gerechneten. Bei der Bewertung des Abstandes muß allerdings auch die Genauigkeit bedacht werden, mit der sich der Zustand unmittelbar vor Stützensenkung eingestellt hatte. Man kann allgemein beobachten, daß bei Zunahme der Bewehrungsgrade μ_F und μ_{St} auch eine bessere Annäherung an die gerechnete Linie gegeben ist ($c = f(\mu_F + \mu_{St})$).

Durch die positive Auflagerverschiebung, Versuchskörper B III und B V, wird das Stützmoment entlastet. Durch den Zeiteinfluß wird ein Teil der Entlastung wieder rückgängig gemacht. Bei Laststeigerung bis zum Bruch verschwindet der Zwanganteil im Verhältnis M_{St}/M_F vollständig. Der Zeiteinfluß ist beim stärker bewehrten Balken B V geringer.

Die bei negativer Auflagerverschiebung, Versuchskörper B IV und B VI, eintretende belastende Wirkung für das Stützmoment wird im Laufe der Zeit ebenfalls abgebaut. Ein vollständiges Verschwinden des Zwanganteiles im Stützmoment bei steigender Last tritt jedoch nicht ein.

In den Bildern 7.17 bis 7.20 sind die Einspann- und die größten Feldmomente der Versuchsbalken über der bezogenen Last $P/zul P$ dargestellt. Dabei wurden M_{St} und M_F in bezogener Form aufgetragen, wobei auf die Momente infolge $zul P$ nach E-Theorie bezogen wurde. Durch diese Darstellung kann man die zwangbedingten Veränderungen deutlich machen.

Bei positiver Auflagerverschiebung (Vergrößerung von M_F), Versuchskörper B III und B V ist bei krit. P der Zwanganteil nahezu völlig abgebaut. Der Einfluß des größeren Bewehrungsgrades von B V gegenüber B III bleibt gering.

Bei negativer Auflagerverschiebung (Vergrößerung von M_{St}), Versuchskörper B IV und B VI, ist der Abbau des Zwangeinflusses beim Versuchskörper B IV nicht besonders ausgeprägt. Allerdings ist zu bemerken, daß bereits vor dem Aufbringen der Auflagerverschiebung beträchtliche Abweichungen von der elastischen Geraden aufgetreten waren. Die Abweichungen übertreffen die der anderen Versuchskörper bei weitem und können durch eine unvorhergesehene Nachgiebigkeit am freien Auflager entstanden sein.

8. ZUSAMMENFASSUNG UND FOLGERUNGEN

Es war das Ziel der Versuche des Teils 2 des vorliegenden Berichtes, das Verformungsverhalten und die Tragfähigkeit von Stahlbetonbalken zu studieren, die einer kombinierten Beanspruchung aus Lastbiegung und langeinwirkendem Zwang, resultierend aus einer Auflagerverschiebung, unterworfen waren.

Die Versuchsbalken waren einseitig voll eingespannt und am anderen Ende verdrehbar und verschieblich gelagert. Sie besaßen eine Stützweite von 5 m und einen Rechteckquerschnitt von $b/d = 35/40$ cm. Die Lastbiegung erfolgte durch zwei gleiche Einzellasten P in den Drittelpunkten.

Je zwei Balken waren zu einem Versuchskörper zusammengefaßt, der die Form einer Stimmgabel besaß: Aus einem massigen Einspannklotz ragten, zu einander parallel und in einem bestimmten Abstand angeordnet, die Balken heraus. Durch diese Form des Versuchskörpers konnten jeweils zwei Balken gleichzeitig aus dem Innenbereich der Stimmgabel heraus, belastet werden. Ebenso war es dadurch möglich, den freien Balkenenden eine gleich große und gleichsinnig gerichtete Auflagerverschiebung Δ aufzuzwingen.

Insgesamt wurden vier Versuchskörper, also acht Versuchsbalken, geprüft. Die wesentlichen Versuchsparameter waren:

- a) Die Richtung der mit 2 cm gewählten Auflagerverschiebung ($\Delta = + 2$ cm erzeugt ein zusätzliches positives Feldmoment, B III und B V; $\Delta = - 2$ cm erzeugt ein zusätzliches negatives Feldmoment, B IV und B VI) und
- b) die Größe der Biegebewehrung.

Bei den Versuchskörpern B V und B VI wurde eine etwa doppelt so große Biegebewehrung wie bei den anderen beiden Versuchskörpern B III und B IV gewählt. Innerhalb eines Versuchskörpers besaßen die beiden Balken dieselbe Bewehrungsmenge, wobei aber eine Unterscheidung hinsichtlich der Bewehrungsaufteilung vorgenommen wurde:

Der obere Balken wurde mit dünnen, der untere hingegen mit dicken Stäben bewehrt, um so den Einfluß des Stabdurchmessers bei gleichem Bewehrungsgrad zu studieren (Verbundparameter d_e/μ). Mit den gewählten Bewehrungsgraden wurden die Biegebruchschnittgrößen nach Traglasttheorie berechnet, wobei der Zwang bewußt außeracht blieb.

Die Versuchskörper wurden zunächst in Schritten bis zur zulässigen Last belastet. Dann wurde die Auflagerverschiebung aufgezwungen und bei konstanter äußerer Last zur P rd. 4 Monate aufrechterhalten. Anschließend folgte der Bruchversuch. Im folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse dargestellt.

Sämtliche Balken versagten durch Fließen der Längsbewehrung. Die erzielten Bruchlasten waren vom Zwängungszustand unbeeinflusst, d.h. eine Abminderung der Biegetragfähigkeit trat nicht ein. Von besonderem Interesse ist die Veränderung der Schnittgrößen $\max M_F$ und M_{St} infolge von Zwang und Zeit. Auf die aufgezwungene Verschiebung reagieren die Momente spontan, jedoch i.d.R. nicht in der Größe, die man nach [9] mit $K_w = c(\mu + \mu') \cdot K_B$ prognostiziert. Gleichwohl erhält man durch eine Rechnung nach [9] einen guten rechnerischen Anhalt. Die Zeit wirkt sich zwangabbauend aus: i.M. verschwinden rd. 50 %

des tatsächlich aufgetretenen, spontanen Zwanganteiles im Moment. Bei der anschließenden Bruchbelastung wird der Zwang noch weiter abgebaut. Er war bei positiver Auflagerverschiebung vollständig verschwunden. Bei negativer Auflagerverschiebung war der Zwang nicht vollständig abgebaut. Dies kann jedoch auch eine Folge unbeabsichtigter Auflagerverschiebung sein.

Der Zwang und dessen Langzeiteinwirkung schlägt sich in der Rißbildung deutlicher als in den Schnittgrößen nieder. Unter dem Dauerzwang nimmt die Zahl der Risse und deren Breiten zu.

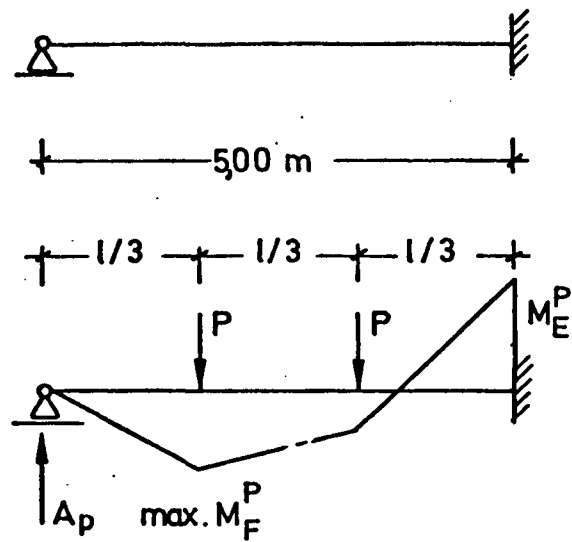
9. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Rüsç, H. "Die wirklichkeitsnahe Bemessung für lastunabhängige Spannungen", Beton-tag 1965.
- [2] Eibl, J. "Zwängung und Rißbildung von Stahlbetonstäben bei Behinderung der Längsverformung", Die Bautechnik 11/1969, S. 373-379.
- [3] Falkner, H. "Zur Frage der Rißbildung durch Eigen- und Zwängspannungen infolge Temperatur in Stahlbetonbauteilen", DAfStb. H. 208/1969.
- [4] Habel, A. "Zwängungsspannungen nicht vorgespannter statisch unbestimmter Beton- und Stahlbetontragwerke", Die Bautechnik 6/1961, S. 186-191.
- [5] Rostásy, F.S. "Zwang und Rissesicherung bei Außenwänden aus Stahlleichtbeton", Habilitation, Stuttgart, 1975.
- [6] Schießl, P. "Bericht über Beschränkung der Rißbreiten bei Zwangbeanspruchung", Institut für Massivbau, TU München, 1975.
- [7] Kordina, K. "Zur Frage der näherungsweise Ermittlung von Zwangsschnittgrößen", IVBH-Symposium, Madrid, 1970
- [8] Tennstedt, E. "Beitrag zur rechnerischen Ermittlung von Zwangsschnittgrößen unter Berücksichtigung des wirklichen Verformungsverhaltens des Stahlbetons", Dissertation, Braunschweig, 1974.

- [9] "Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und
 Formänderungen von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045,
 Ausgabe 1972", DAfStb. H. 240.

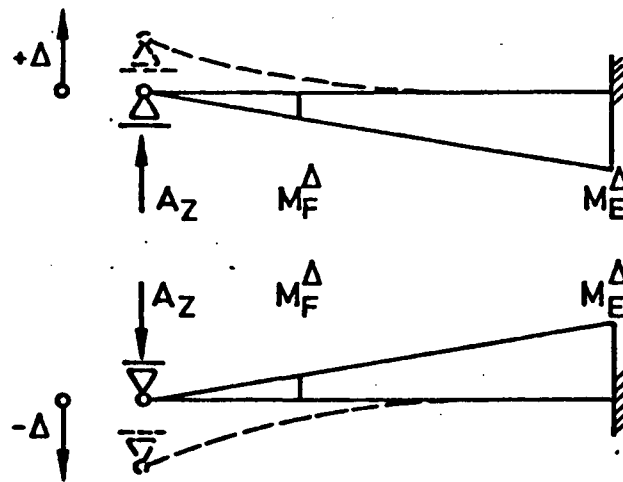
- [10] Noakowski, P. "Die Bewehrung von Stahlbetonbau-
 teilen bei Zwangbeanspruchung
 infolge Temperatur", DAfStb
 H. 296/1978.

- [11] Koch, R. "Verformungsverhalten von Stahlbeton-
 stäben unter Biegung und Längszug
 im Zustand II auch bei Mitwirkung
 des Betons zwischen den Rissen",
 Dissertation, Stuttgart, 1976.



$$M_E^P = -P \cdot l / 3$$

$$\max. M_F^P = 2 \cdot P \cdot l / 9$$

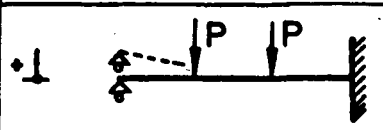
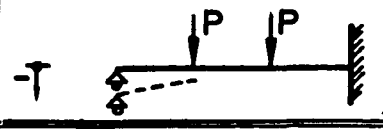
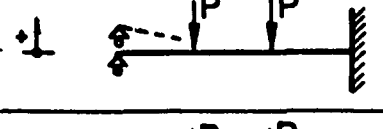
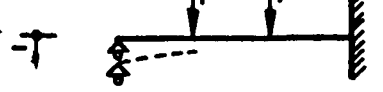


$$M_E^\Delta = 3 \cdot K_W \cdot \Delta / l^2$$

$$M_F^\Delta = K_W \cdot \Delta / l^2$$

$$K_W = c \cdot K_B = c \cdot E_b \cdot I_b$$

Bild 1.1 : Statisches System und Momente infolge Einzellasten und vertikaler Auflagerverschiebung.

Versuchs- körper	Versuchs- balken	Bewehrung				Auflager- verschiebung cm	Verformungsbild
		Feld		Einspannung			
		μ_F %	Stäbe n; \varnothing	μ_E %	Stäbe n; \varnothing		
B III	O	0,55	10;10	0,8	10;12	+ 2,0	
	U	0,55	2;22	0,8	3;22	+ 2,0	
B IV	O	0,55	10;10	0,8	10;12	- 2,0	
	U	0,55	2;22	0,8	3;22	- 2,0	
B V	O	0,9	4;20	1,8	8;20	+ 2,0	
	U	0,9	2;28	1,8	4;28	+ 2,0	
B VI	O	0,9	4;20	1,8	8;20	- 2,0	
	U	0,9	2;28	1,8	4;28	- 2,0	

Tab. 1.1 : Untersuchte Parameter der Versuche

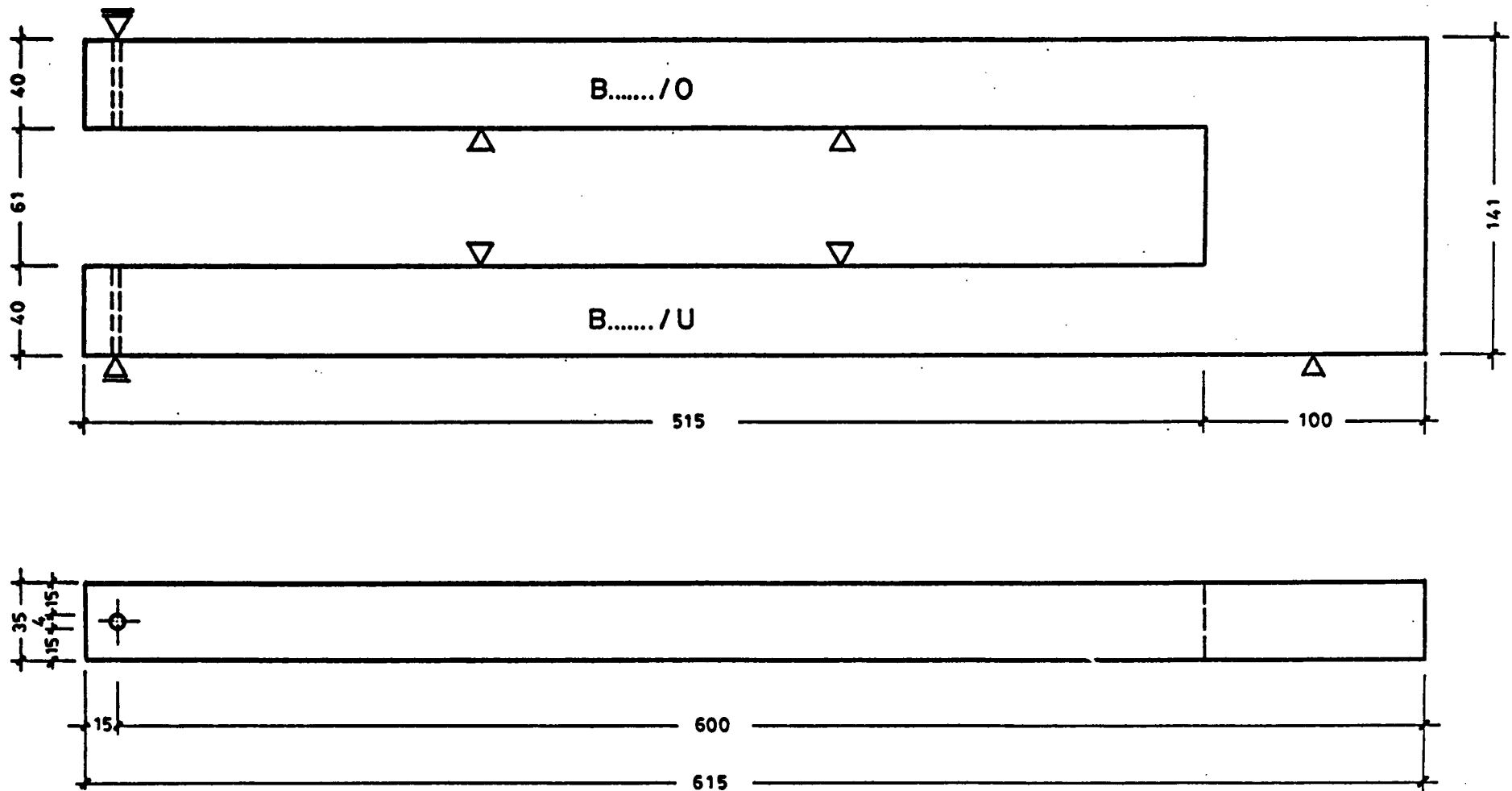
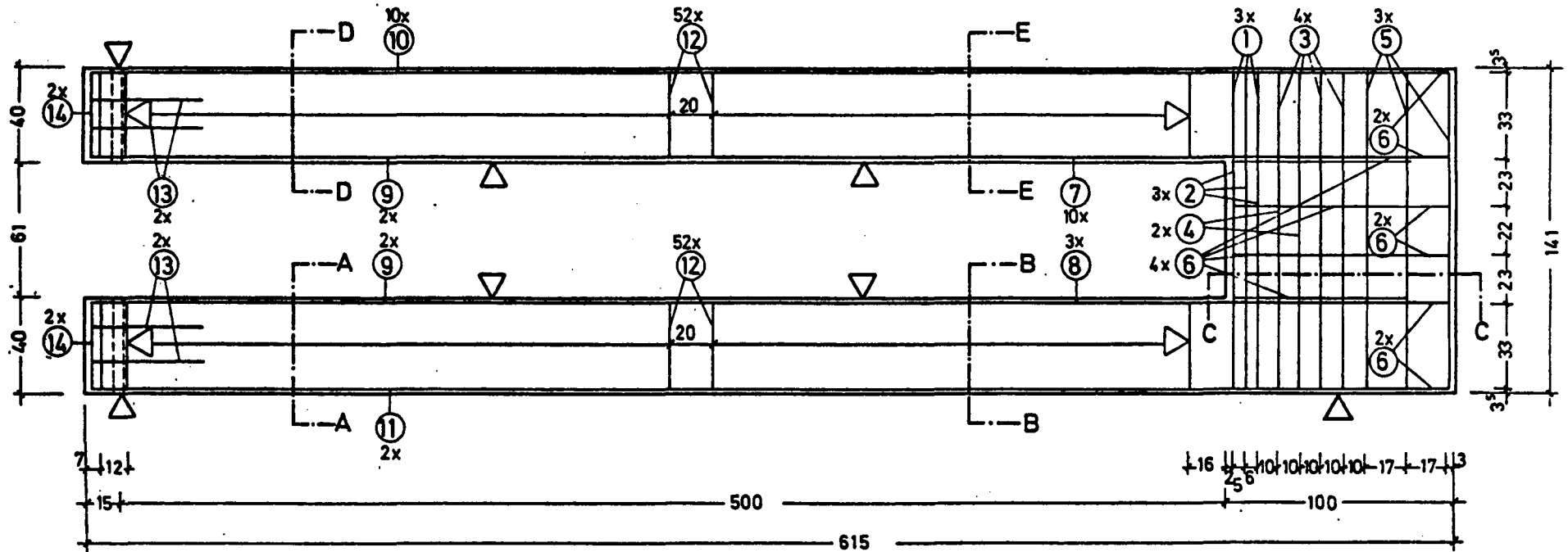


Bild 2.1 : Abmessungen der Versuchskörper

Bild 2.2.: Bewehrung der Versuchskörper B III und B IV



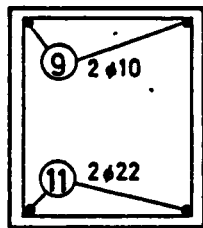
⑨ 2x2 = 4 III ϕ 10, L=3,35 m

⑩ 10 III ϕ 10, L=6,05 m

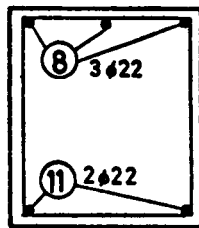
⑪ 2 III ϕ 22, L=6,05 m

⑦ 10 III ϕ 12, L=3,40 m

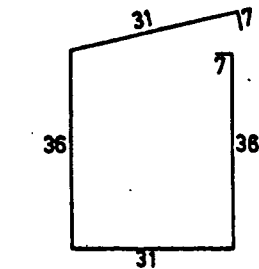
⑧ 3 III ϕ 22, L=4,05 m



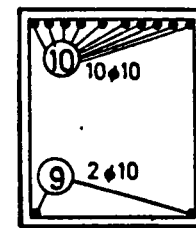
SCHNITT A-A



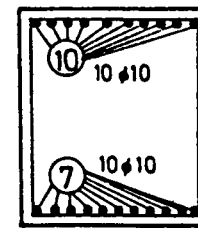
SCHNITT B-B



⑫ 2x26=52 III ϕ 8, $\alpha=20^\circ$, $L=1\frac{1}{2}$ m

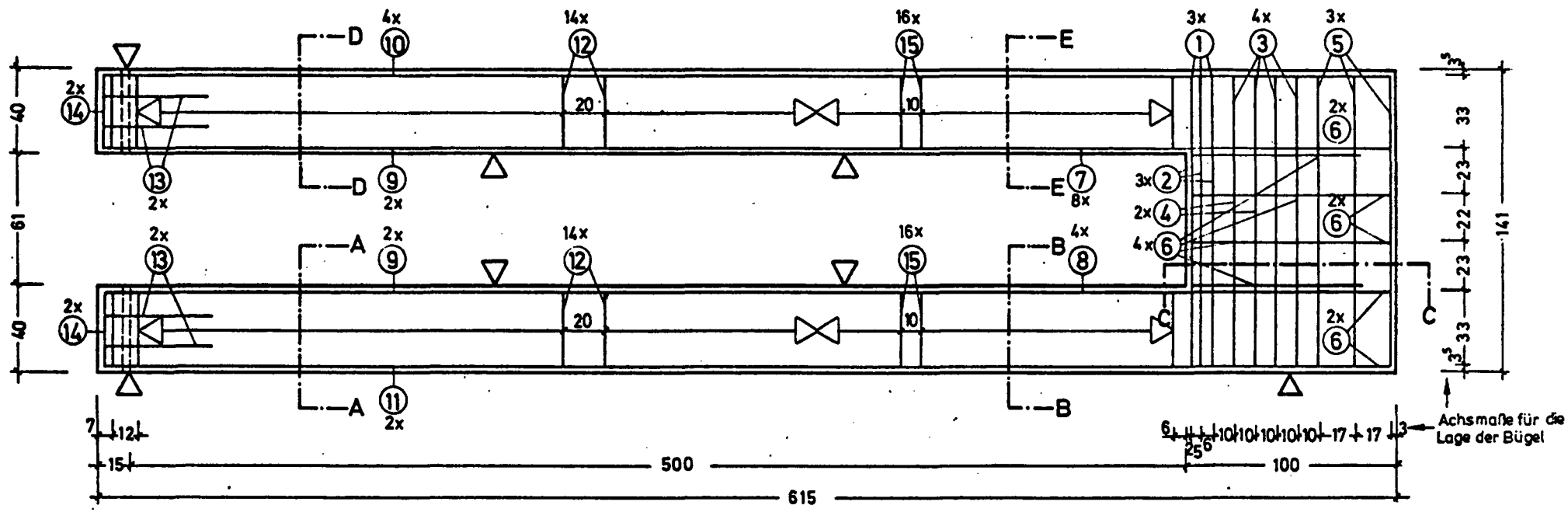


SCHNITT D-D

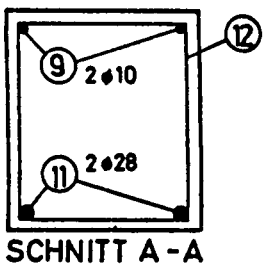


SCHNITT E-E

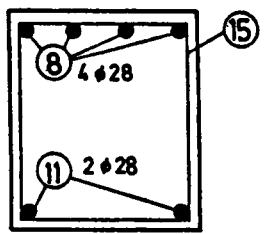
Bild 2.3 : Bewehrung der Versuchskörper B V und B VI



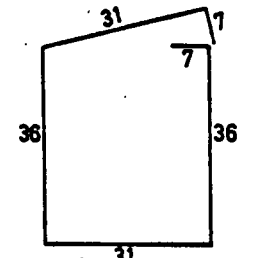
- ⑨ 2x2=4 III ϕ 10, L=2,94 m
- 18 ⑩ 4 III ϕ 20, L=6,23 m
- 24 ⑪ 2 III ϕ 28, L=6,29 m
- ⑦ 8 III ϕ 20, L=3,80 m
- ⑧ 4 III ϕ 28, L=4,35 m



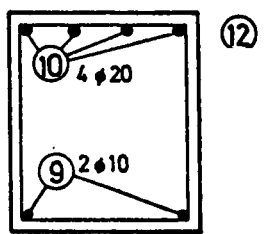
SCHNITT A-A



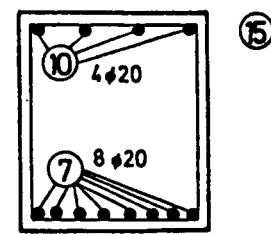
SCHNITT B-B



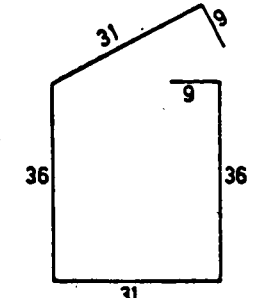
⑫ 2x18=36 III ϕ 8, a=20cm, L=1,42m



SCHNITT D-D



SCHNITT E-E



⑮ 2x17=34 III ϕ 10, a=10cm, L=1,46m

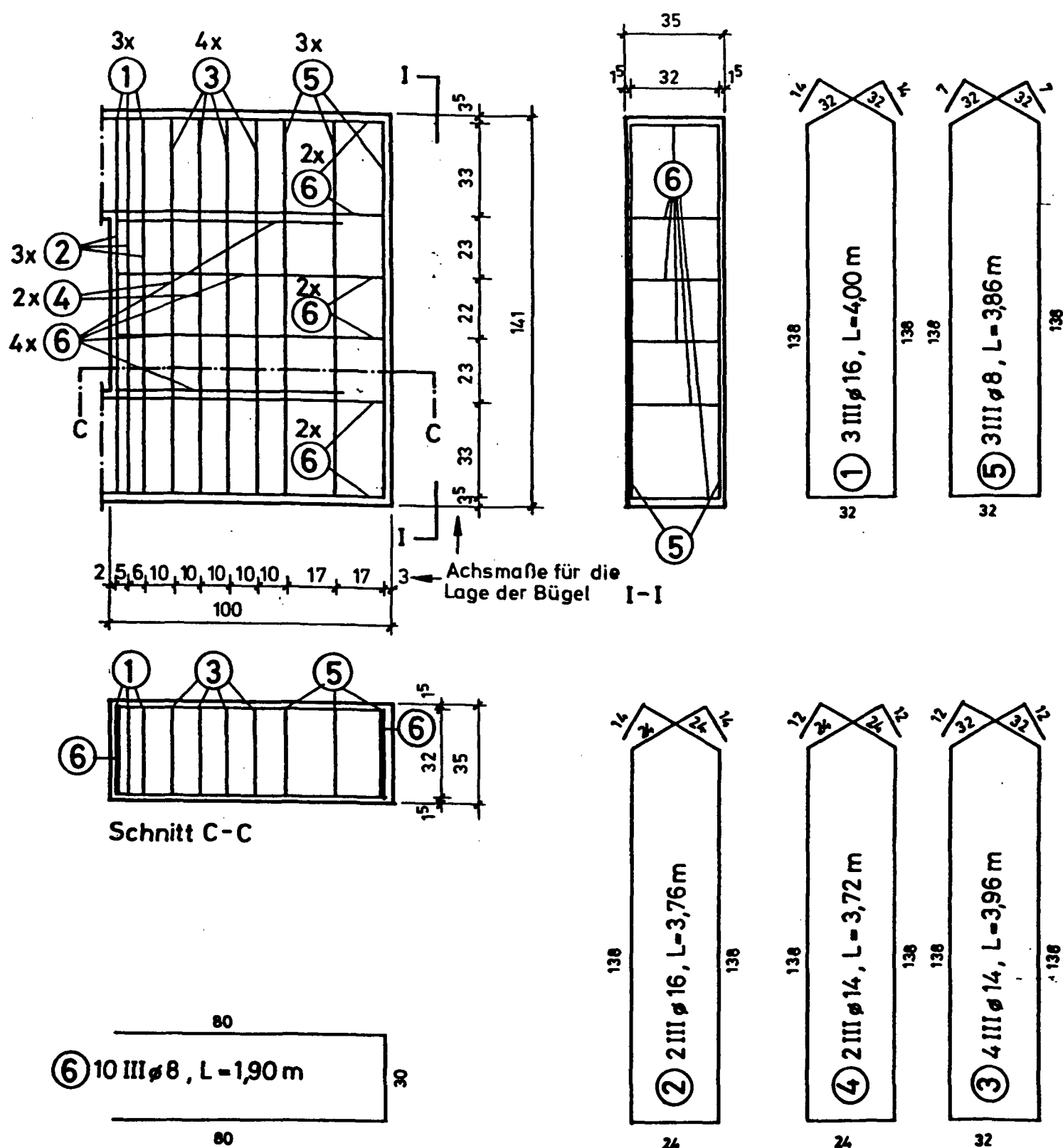


Bild 2.4 : Bewehrung des Einspannblockes

	Größe	Einheit	Auflagerverschiebung [cm]			
			+ 2,0	- 2,0	+ 2,0	- 2,0
			μ_F und μ_E klein		μ_F und μ_E groß	
			Versuchskörper			
			B III	B IV	B V	B VI
Traglastzustand nach DIN 1045	krit M_F	kNm	107,6	107,6	165,1	165,1
	krit M_e	kNm	152,3	152,3	291,0	291,0
	krit P	kN	95,0	95,0	157,3	157,3
	zul P	kN	54,3	54,3	89,9	89,9
	max τ_o	MN/m ²	0,50	0,50	1,30	1,30
Rechnerischer Bruchzustand	rechn M_{FU}	kNm	120,2	120,6	172,0	173,8
	rechn M_{EU}	kNm	171,0	169,6	312,6	316,3
	rechn P_U	kN	106,3	106,3	165,7	167,5
Versuchswerte	M_{FUV}	kNm	133,3	133,3	222,2	222,2
	M_{EUV}	kNm	200,0	200,0	333,3	333,3
	P_{UV}	kN	120,0	120,0	200,0	200,0
Vergleiche	$P_{UV}/\text{krit P}$	-	1,26	1,26	1,27	1,27
	$P_{UV}/\text{rechn } P_U$	-	1,13	1,13	1,21	1,19
	$P_{UV}/\text{zul P}$	-	2,21	2,21	2,22	2,22

Tab. 2.1: Rechenwerte

Alter	Rohdichte	Biegezugfestigkeit	Druckfestigkeit
Tage	kg/dm ³	N/mm ²	N/mm ²
2	2,253	5,2	28,9
7	2,262	7,4	43,8
28	2,275	8,3	50,3
Mahlfeinheit (Sieb 0,2): 0,60 % Spezif. Oberfläche : 3540 cm ² /g			

Tab. 3.1: Zementeigenschaften

	Bez.	M.-%
Glühverlust	-	1,01
Unlöslicher Rückstand	-	0,22
Kohlendioxid	CO ₂	0,20
Magnesiumoxid	MgO	1,03
Calciumoxid	CaO	65,00
Siliciumdioxid	SiO ₂	20,24
Sesquioxide	R ₂ O ₃	9,64
davon Eisenoxid	Fe ₂ O ₃	1,79
Sulfat	SO ₃	2,78
Chlorid	Cl ⁻	0,016

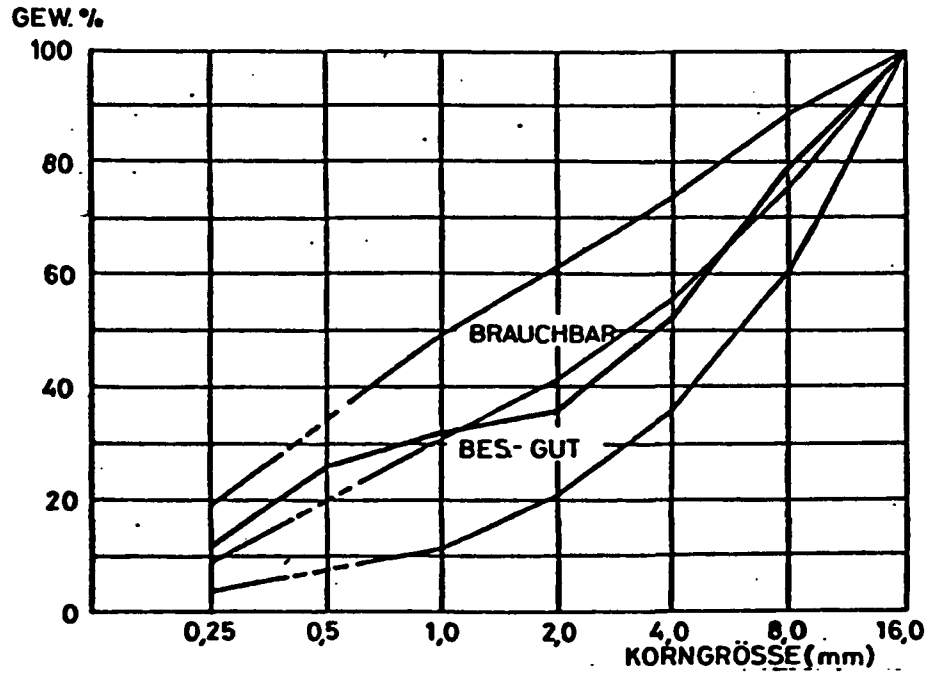
Tab. 3.2: Chemische Zusammensetzung des Zements

DURCHGANG IN GEW.-% DER EINZELNEN KORNGRUPPEN

		0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5
KORNGRUPPE A	0/1	42,9	90,6	97,9	99,4	99,8	100	100	100
———— B	0/2	10,6	34,2	69,1	92,3	100	100	100	100
———— C	2/8	0,7	1,0	1,4	3,4	40,7	98,3	100	100
———— D	8/16	0,3	0,6	0,9	1,1	1,4	11,6	98,7	100

DURCHGANG IN GEW.-% DES GEMISCHES

	%	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5
A	25	10,73	22,66	24,49	24,87	24,97	25,02	25,0	25,0
B	10	1,06	3,42	6,91	9,23	10	10	10	10
C	42	0,29	0,42	0,59	1,43	17,1	41,29	42	42
D	23	0,07	0,14	0,21	0,26	0,33	2,68	22,70	23
	100	12,15	26,64	32,20	35,79	52,40	78,99	99,70	100



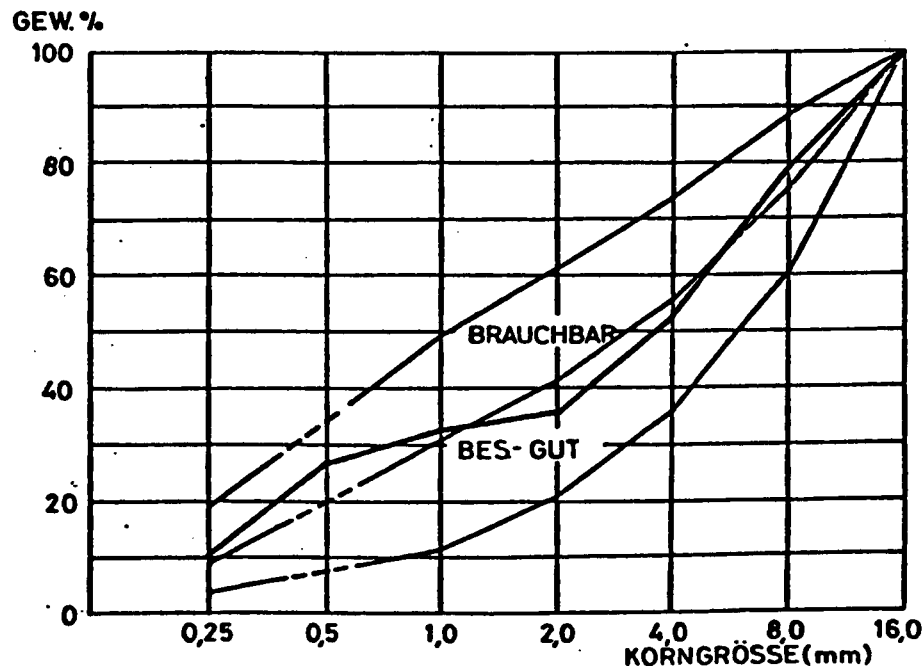
Tab. 3.3 : Kornzusammensetzung- Versuchskörper B III

DURCHGANG IN GEW.-% DER EINZELNEN KORNGRUPPEN

		0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5
KORNGRUPPE A	0/1	35,4	92,6	98,8	99,8	100	100	100	100
— " — B	0/2	10,6	34,2	69,1	92,3	100	100	100	100
— " — C	2/8	0,5	0,8	1,2	3,2	40,5	98,1	99,8	100
— " — D	8/16	0,3	0,6	0,9	1,1	1,4	11,6	98,7	100

DURCHGANG IN GEW.-% DES GEMISCHES

	%	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5
A	25	8,85	23,15	24,70	24,95	25	25	25	25
B	10	1,06	3,42	6,91	9,23	10	10	10	10
C	42	0,29	0,42	0,59	1,43	17,1	41,29	42	42
D	23	0,07	0,14	0,21	0,26	0,33	2,68	22,70	23
	100	10,27	27,13	32,41	35,87	52,43	78,97	99,70	100



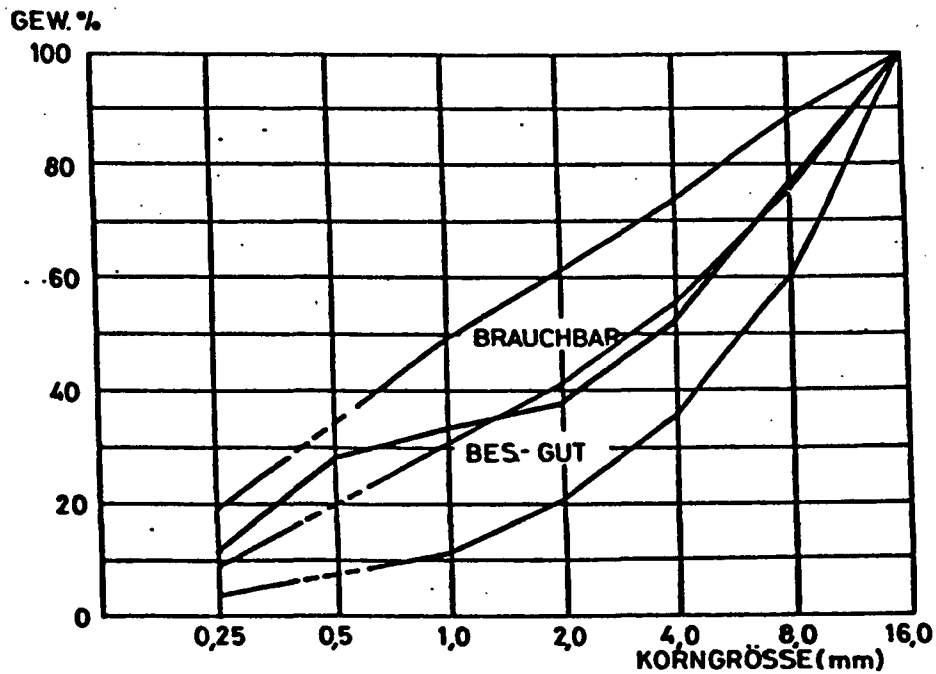
Tab. 3.4 : Kornzusammensetzung- Versuchskörper B IV

DURCHGANG IN GEW.-% DER EINZELNEN KORNGRUPPEN

		0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5
KORNGRUPPE A	0/1	425	94,1	985	99,5	100	100	100	100
— B	0/2	780	413	802	96,4	100	100	100	100
— C	2/8	Q40	Q80	2,3	80	42	96	100	100
— D	8/16	Q40	Q50	Q6	Q7	Q9	74	996	100

DURCHGANG IN GEW.-% DES GEMISCHES

	%	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5
A	25	10,63	23,52	24,62	24,87	25,0	25	25	25
B	10	0,78	4,13	8,02	9,64	10	10	10	10
C	42	Q17	Q34	Q97	3,36	17,64	40,32	42	42
D	23	Q09	Q11	Q13	Q15	Q2	17	22,91	23
	100	11,67	28,10	33,74	38,02	52,84	77,02	99,91	100



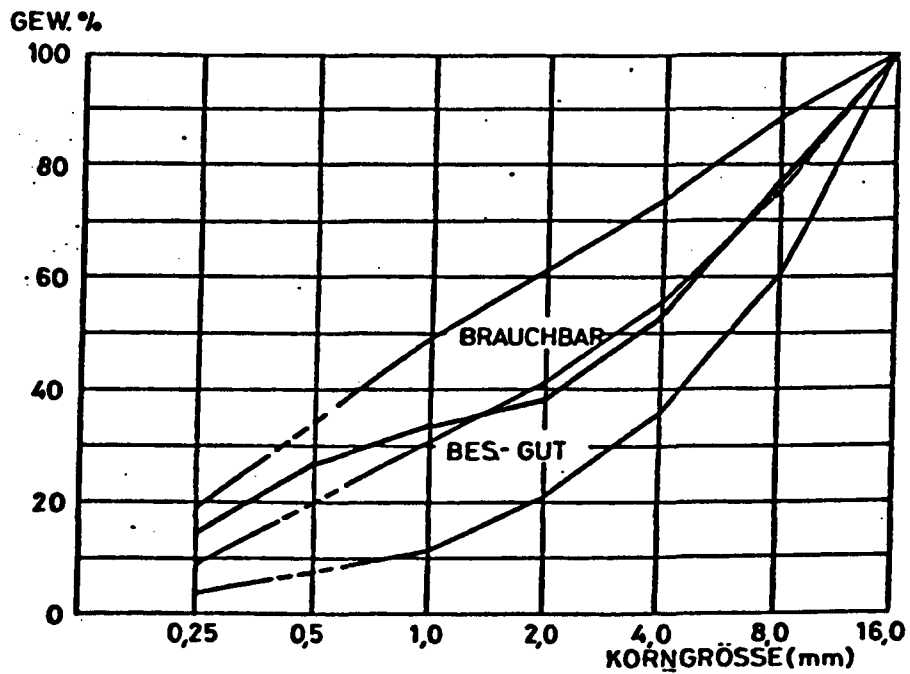
Tab. 3.5 : Kornzusammensetzung- Versuchskörper B V

DURCHGANG IN GEW.-% DER EINZELNEN KORNGRUPPEN

		0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5
KORNGRUPPE A	0/1	54,2	92,8	98,6	99,5	99,9	100	100	100
———— B	0/2	7,8	41,3	80,2	96,4	100	100	100	100
———— C	2/8	0,4	0,8	2,3	8,0	42	96	100	100
———— D	8/16	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	7,4	99,6	100

DURCHGANG IN GEW.-% DES GEMISCHES

	%	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5
A	25	13,54	23,19	24,64	24,87	24,97	25	25	25
B	10	0,78	4,13	8,02	9,64	10	10	10	10
C	42	0,17	0,34	0,97	3,36	17,64	40,32	42	42
D	23	0,09	0,11	0,13	0,15	0,2	1,7	22,91	23
	100	14,58	27,77	33,76	38,02	52,81	77,02	99,91	100



Tab. 3.6 : Kornzusammensetzung - Versuchskörper B VI

Gesteinsart in Gew.-%	Sonnenberg 16 - 32 mm	Sonnenberg 8 - 16 mm	Sonnenberg 2 - 8 mm	Sand 0-2 mm Sonnenberg	Sand 0-1 mm Abbesbüttel
Feuerstein (Flint)	19,4	21,0	12,8		
Sandstein	52,2	46,8	35,3		
Quarz, Gangquarz	4,6	12,9	12,8	70	90
Kieselschiefer	9,9	8,8	12,8		
Tonschiefer	0,6	2,1	5,8		
Granit u. Pegmatit	10,0	7,7	18,2		
Porphyr	0,6	-	1,8		
Mergel u. Rest	2,7	0,7	0,5	30	10

Sand Abbesbüttel:

Mineralbestand : über 90 Gew.-% Quarz

Nebengemengteile: Biotit, Schwerminerale wie Zirkon, Apatit u.a.

Korngröße : vorwiegend zwischen 0,05 und 0,5 mm

Kornform : sehr gut gerundet

Sand Sonnenberg :

Mineralbestand : ca. 70 Gew.-% Quarz, ca. 30 Gew.-% Gesteinsbruchstücke wie
Tonschiefer, Quarzit, Feldspäte

Korngröße : 0,05 bis 2 mm

Kornform : gut gerundet

Tab. 3.7: Petrographische Analyse des Zuschlages

Zusammensetzung des Betons					
Versuchskörper	Baustoffe/m³ Beton (in kg)			W/Z-Wert	Frischbetonrohddichte (kg/m³)
	Zement	Zuschlag	Wasser		
B III	soll: 230	1885	219	0,95	2 334
	ist: 234	1914	222	0,95	2 370
B IV	soll: 230	1885	219	0,95	2 334
	ist: 233	1910	222	0,95	2 365
B V	soll: 230	1885	219	0,95	2 334
	ist: 233	1910	222	0,95	2 365
B VI	soll: 230	1885	219	0,95	2 334
	ist: 234	1918	223	0,95	2 375

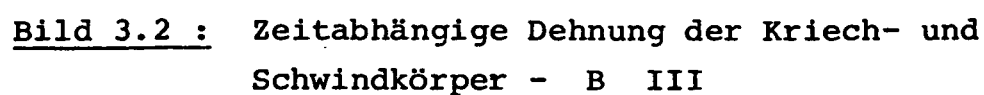
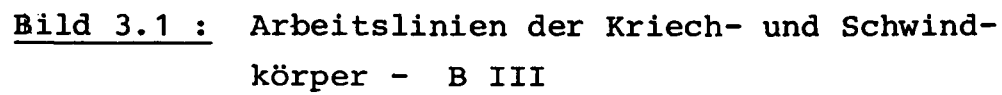
Tab. 3.8 : Betonzusammensetzung

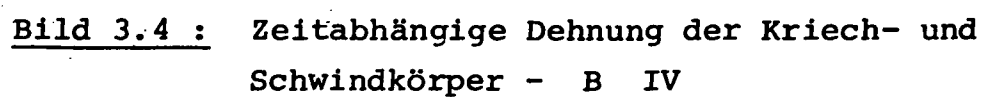
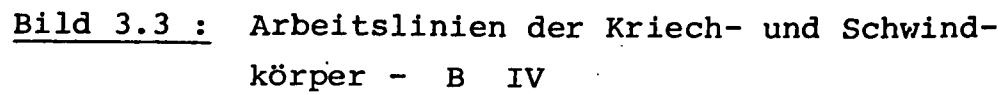
Versuchskörper	Alter (Tage)	Festigkeit (N/mm²)					E-Modul (KN/mm²)
		Würfel-	Balken-Biegezug-	Zylinder-Druck-	Spaltzug-	Prismen-DRUCK-	
B III	7	22,6	-	-	-	-	-
	28	31,6	3,21	26,54	2,72	26,12	21,69
	120	32,4	4,55	29,70	2,68	-	23,44
B IV	7	21,7	-	-	-	-	-
	28	29,7	3,29	28,60	2,23	26,33	24,97
	120	32,4	4,26	31,60	2,73	-	26,10
B V	7	20,5	-	-	-	-	-
	28	28,9	2,86	26,5	2,46	26,6	24,70
	120	32,1	4,07	28,1	2,56	-	22,00
B VI	7	18,8	-	-	-	-	-
	28	31,2	3,35	25,7	2,08	25,8	24,51
	120	32,1	4,04	26,5	2,67	-	22,60

Tab. 3.9 : Festigkeitseigenschaften der Betone

Vers. Nr.	Istdurch- messer	Querschnitt (Ist)	Streckgrenze bez. auf Ist-Ø		Zugfestigkeit bez. auf Ist-Ø		Bruchdehnung
			$F_{0,2}$	$R_{p0,2}$	F_m	R_m	
	(mm)	(cm ²)	kN	N/mm ²	kN	N/mm ²	%
2	16,20	2,060	95,6	464,1	119,3	579,1	13,4
3	16,19	2,058	97,1	471,8	120,0	583,1	13,4
1	18,07	2,563	112,1	437,4	138,5	540,4	13,3
2	18,04	2,554	113,8	445,6	139,3	545,4	13,9
3	18,04	2,554	113,2	443,2	139,2	545,0	13,6
1	20,10	3,172	134,9	425,3	165,0	520,2	14,0
2	20,10	3,170	134,8	425,2	165,0	520,5	13,0
3	20,10	3,170	133,8	422,1	164,3	518,3	12,5
1	22,2	3,877	185,2	477,7	217,5	561,0	12,7
2	22,2	3,867	182,5	471,9	219,0	566,3	12,3
3	22,2	3,877	184,0	474,6	218,0	562,3	13,6
1	28,2	6,259	265,0	423,4	316,5	505,7	14,3
2	28,2	6,252	262,0	419,1	317,0	507,0	15,0
3	28,2	6,255	266,0	425,3	320,0	511,6	13,6
1	8,09	0,514	21,0	408,6	24,8	482,5	15,0
2	8,06	0,510	21,1	413,7	25,1	492,2	13,8
3	8,03	0,506	21,1	417,0	24,9	492,1	11,3
1	10,15	0,809	35,3	436,3	43,0	531,5	13,0
2	10,14	0,807	35,5	439,9	43,8	542,7	14,5
3	10,16	0,810	35,4	437,0	44,0	543,2	14,5
1	12,10	1,150	50,0	434,8	62,4	542,6	15,0
2	12,10	1,149	50,0	435,2	62,4	543,1	15,4
3	12,11	1,150	50,2	436,5	62,4	542,6	15,0
1	14,05	1,549	72,8	470,0	89,8	579,7	13,6
2	14,05	1,548	72,9	470,9	89,0	574,9	12,1
3	14,06	1,552	72,4	466,5	88,9	572,8	12,9
1	16,19	2,058	96,5	468,9	119,7	581,6	13,8

Tab. 3.10: Stahlfestigkeitswerte





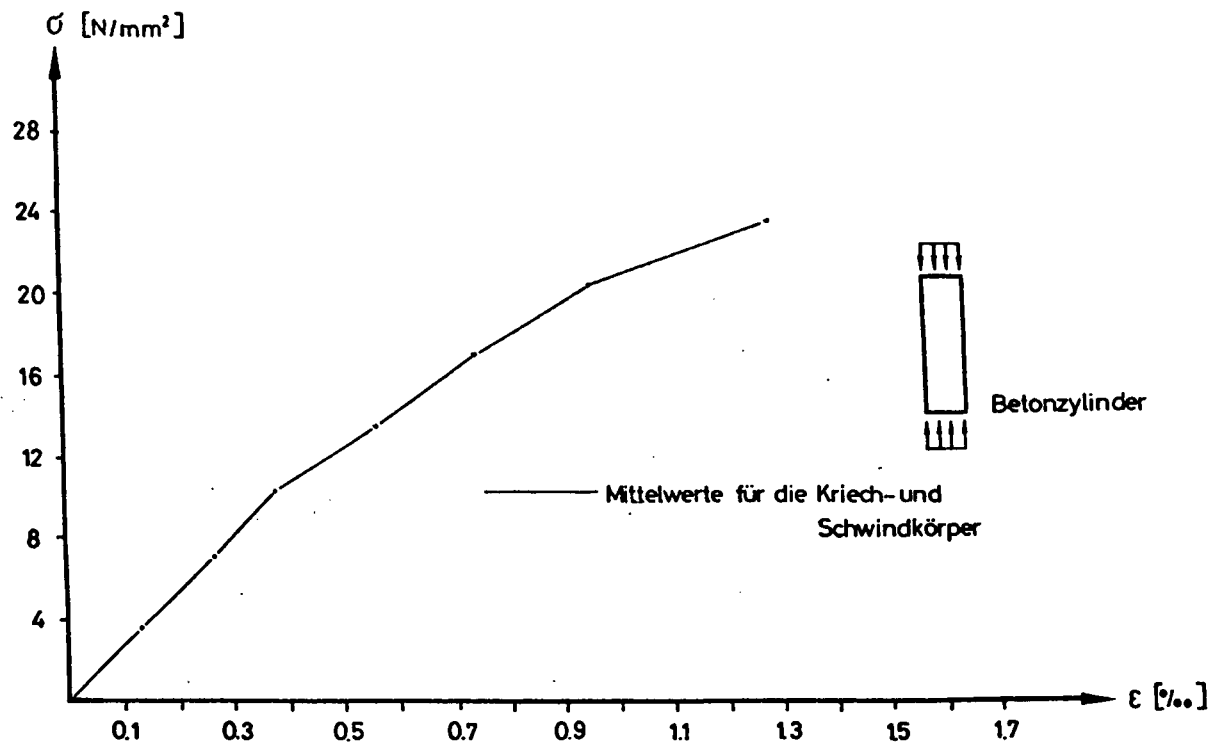


Bild 3.5 : Arbeitslinien der Kriech- und Schwindkörper - B V

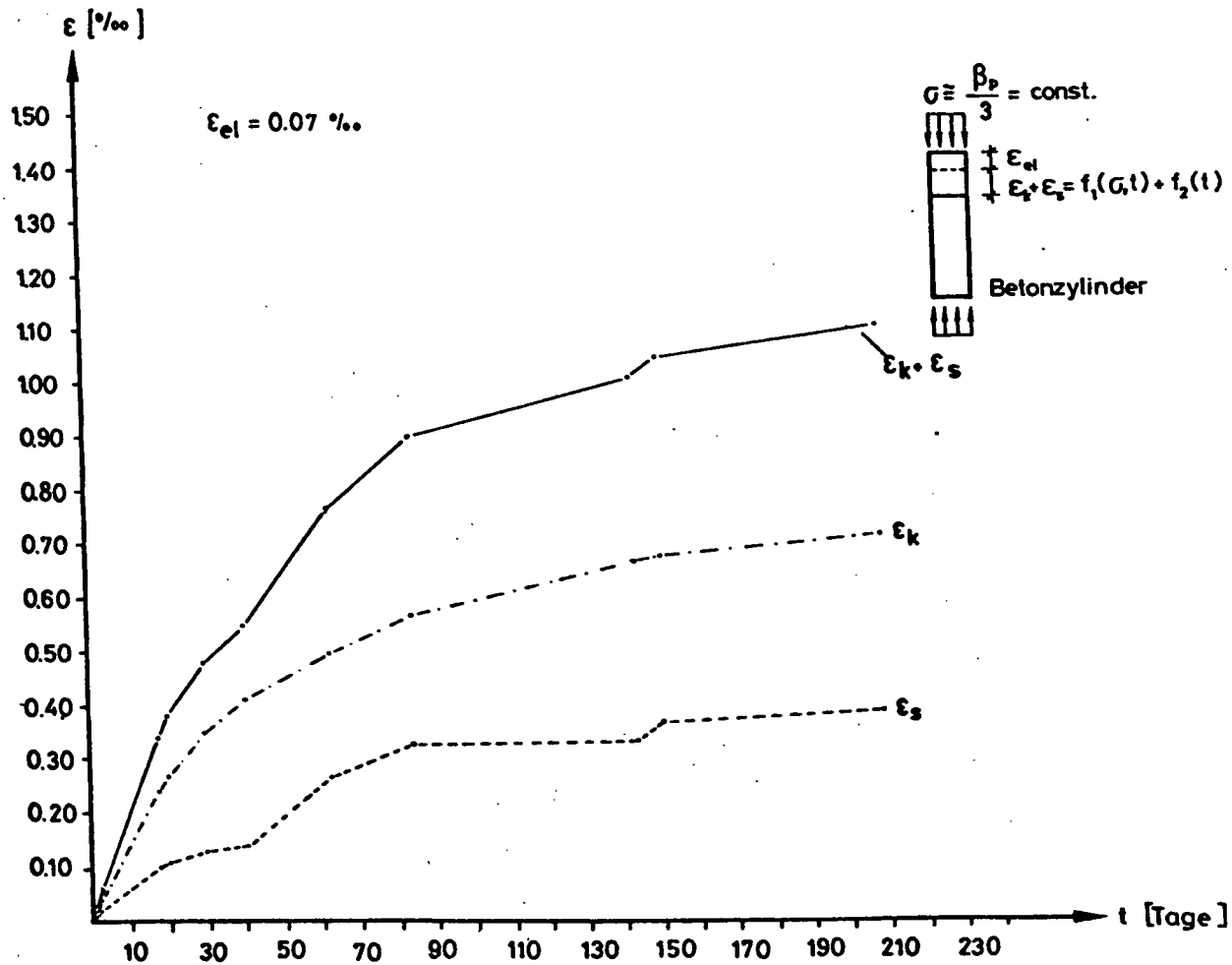


Bild 3.6 : Zeitabhängige Dehnung der Kriech- und Schwindkörper - B V

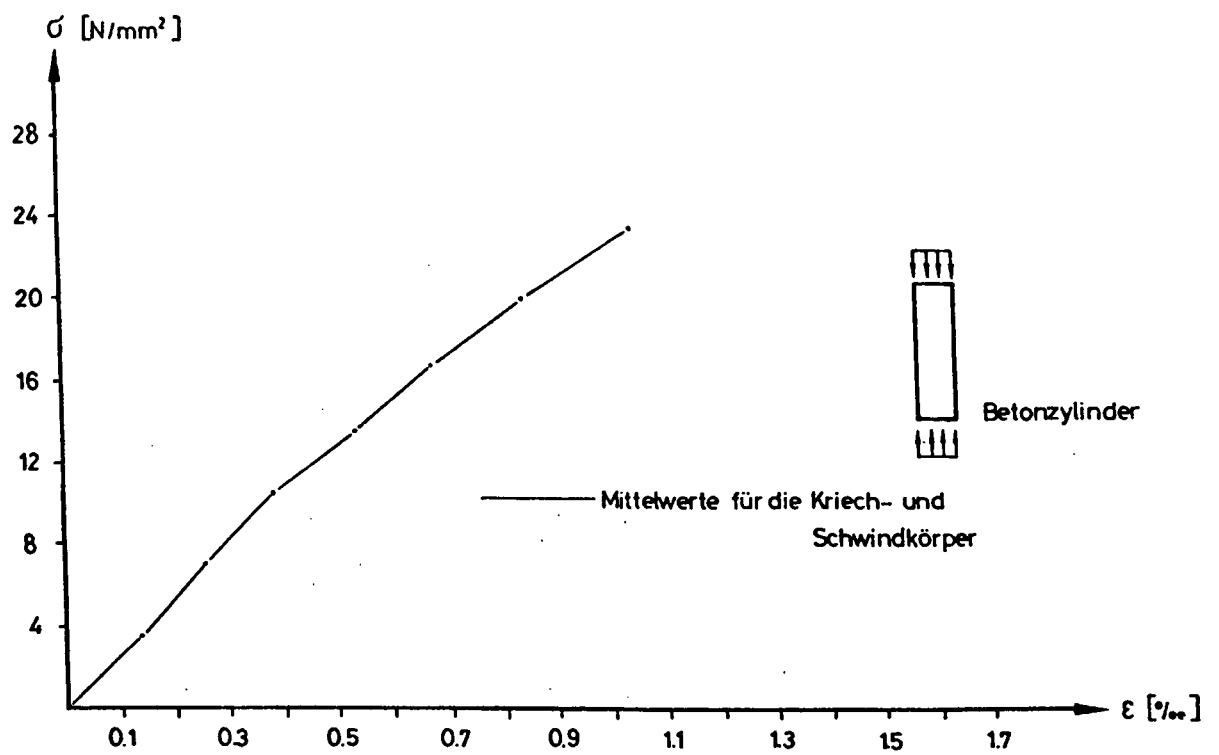


Bild 3.7 : Arbeitslinien der Kriech- und Schwindkörper - B VI

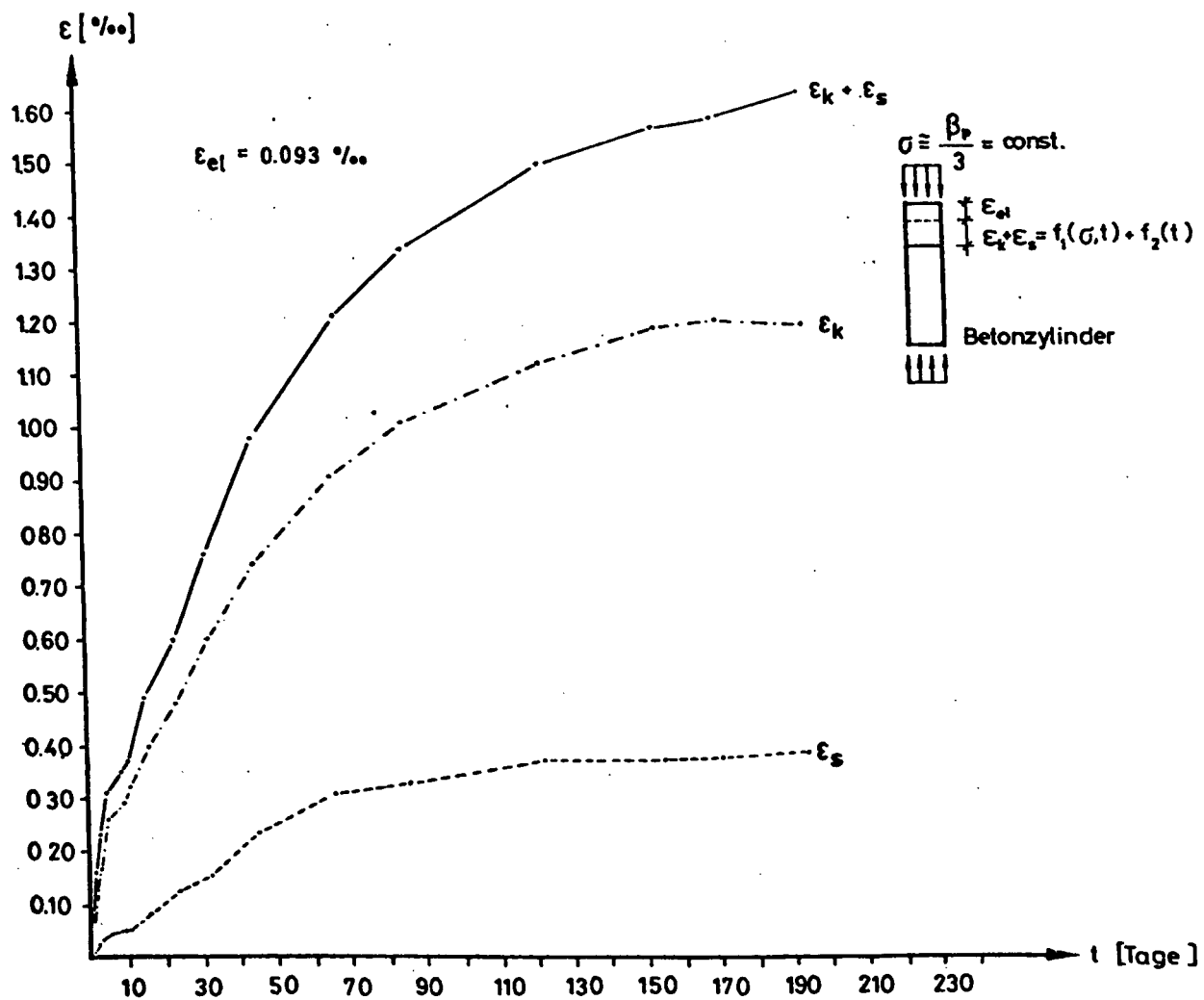


Bild 3.8 : Zeitabhängige Dehnung der Kriech- und Schwindkörper - B VI

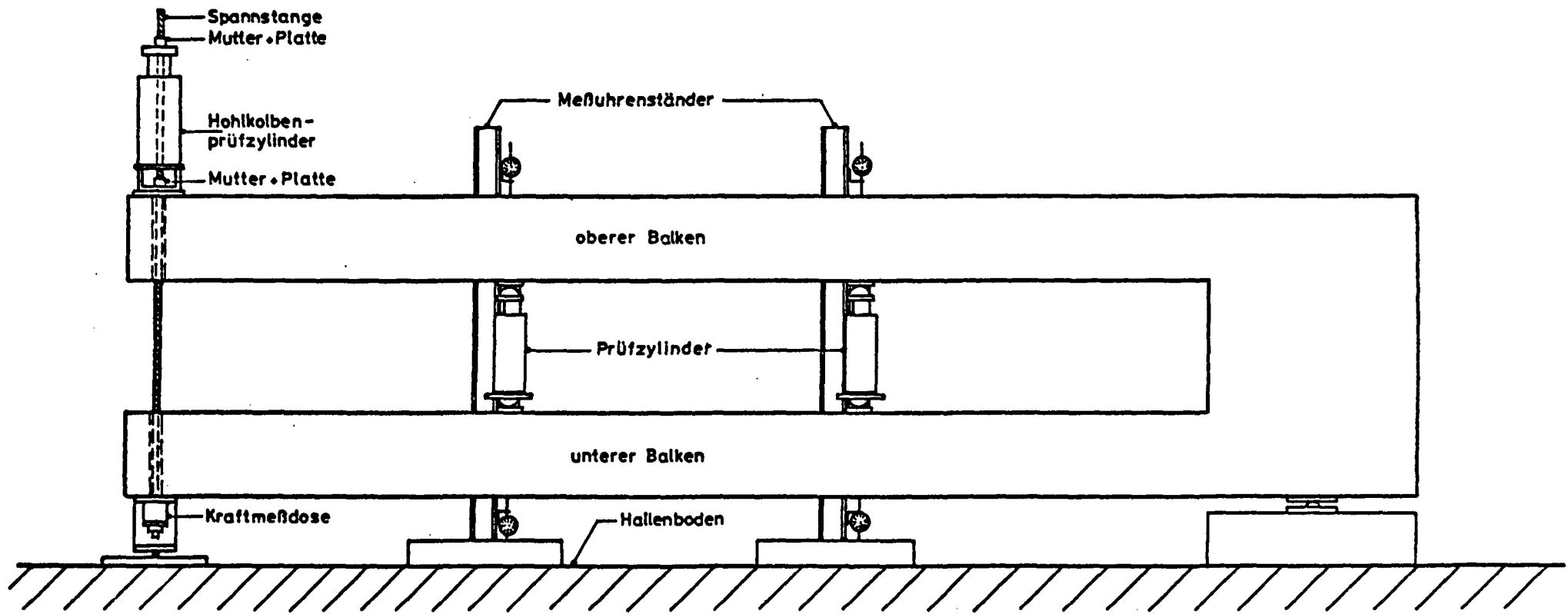


Bild 4.1 : Versuchsaufbau

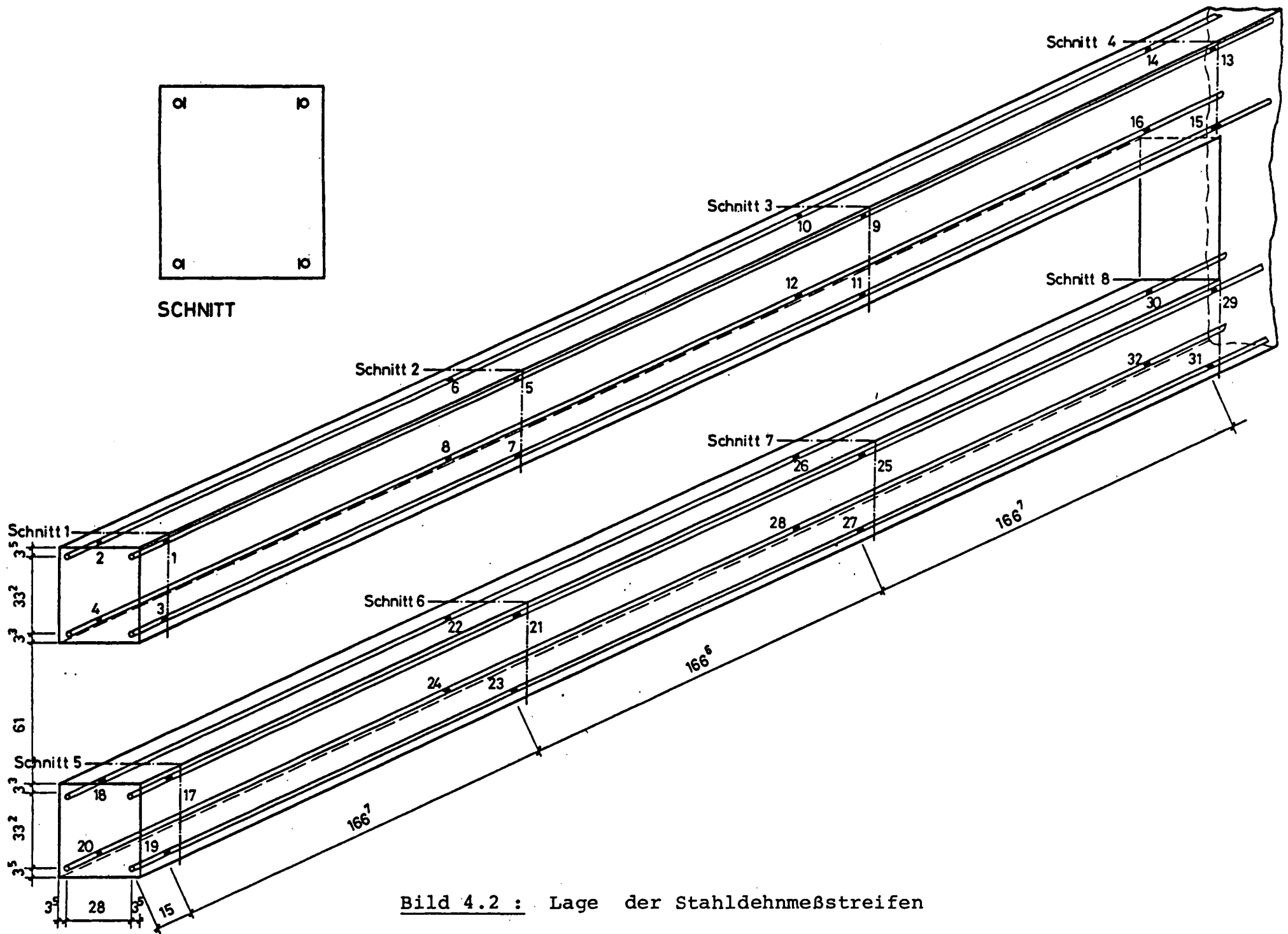


Bild 4.2 : Lage der Stahldehnmeßstreifen

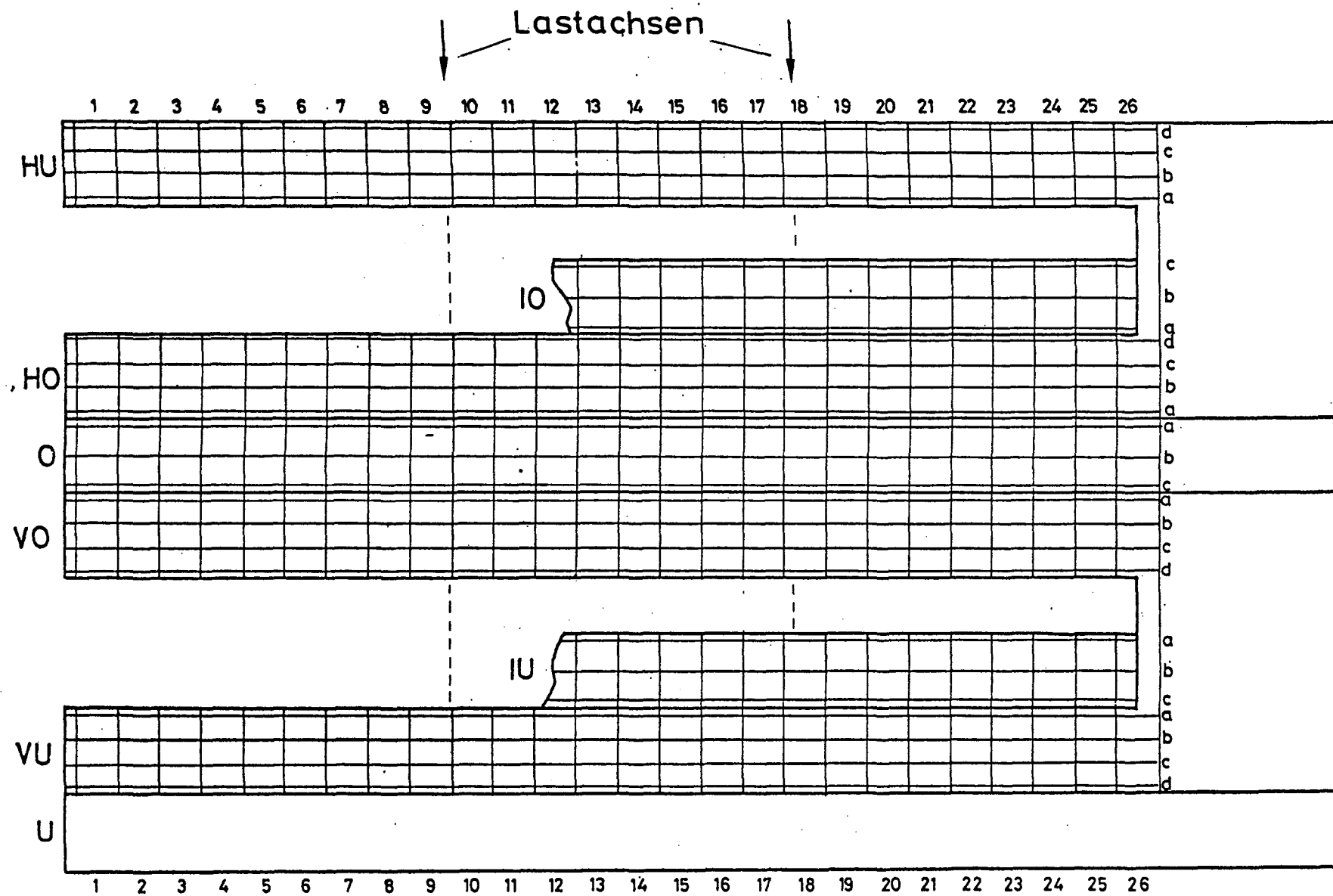


Bild 4.4 : Rißmeßlinien

Versuchskörper BIII				Versuchskörper BIV			
Laststufe	P	$\frac{P}{\text{zul } P_{St}}$	Bemerkungen	Laststufe	P	$\frac{P}{\text{zul } P_{St}}$	Bemerkungen
-	kN	-	-	-	kN	-	-
1	10	0,19		1	10	0,19	
2	20	0,38		2	20	0,38	
3	30	0,57		3	30	0,57	
4	40	0,77		4	40	0,77	
5	51,7	0,99	~zul P_{St}	5	51	0,98	~zul P_{St}
6	51,7	0,99		6	51	0,98	
7	51,7	0,99		7	51+Δ	0,98+Δ	Aufl.versch. t=0 [Tage]
8	51,7	0,99		8	wie LST7	wie LST 7	t = 0,028
9	51,7+Δ	0,99+Δ	Aufl.versch. t = 0 [Tage]	9	"-	"-	t=0,110
10	wie LST9	wie LST9	t=0,042	10	"-	"-	t=0,169
11	"-	"-	t=0,083	11	"-	"-	t=0,243
12	"-	"-	t=0,215	12	"-	"-	t=0,950
13	"-	"-	t=0,277	13	"-	"-	t=1,234
14	"-	"-	t=0,985	14	"-	"-	t=2,005
15	"-	"-	t=1,235	15	"-	"-	t=3,196
16	"-	"-	t=3,975	16	"-	"-	t=6,036
17	"-	"-	t=5,996	17	"-	"-	t=8,043
18	"-	"-	t=8,041	18	"-	"-	t=10,029
19	"-	"-	t=11,048	19	"-	"-	t=15,040
20	"-	"-	t=14,965	20	"-	"-	t=22,054
21	"-	"-	t=21,959	21	"-	"-	t=31,031
22	"-	"-	t=31,954	22	"-	"-	t=43,052
23	"-	"-	t=42,982	23	"-	"-	t=64,050
24	"-	"-	t=63,972	24	"-	"-	t=85,050
25	"-	"-	t=84,966	25	"-	"-	t=119,904
26	"-	"-	t=119,965	26	wie LST7	wie LST 7	t=124,936
27	wie LST9	wie LST9	t=159,982	27	60+Δ	1,15+Δ	
28	60+Δ	1,15+Δ		28	70+Δ	1,34+Δ	
29	70+Δ	1,34+Δ		29	70+Δ	1,34+Δ	
30	70+Δ	1,34+Δ		30	80+Δ	1,53+Δ	
31	80+Δ	1,53+Δ		31	90+Δ	1,72+Δ	
32	90+Δ	1,72+Δ		32	100+Δ	1,92+Δ	
33	100+Δ	1,92+Δ		33	110+Δ	2,11+Δ	
34	110+Δ	2,11+Δ		34	120+Δ	2,30+Δ	
35	120+Δ	2,30 Δ	Bruchlast				Bruchlast

Tab. 5.1 Zusammenstellung der Laststufen für BIII und B IV

Versuchskörper BV				Versuchskörper BVI			
Laststufe	P	$\frac{P}{\text{zul } P_{St}}$	Bemerkungen	Laststufe	P	$\frac{P}{\text{zul } P_{St}}$	Bemerkungen
-	kN	-	-	-	kN	-	-
1	20	0,21	zul P_{St}	1	20	0,21	zul P_{St}
2	40	0,41		2	40	0,41	
3	60	0,62		3	60	0,62	
4	80	0,82		4	80	0,82	
5	97	1,00		5	97	1,00	
6	97	1,00		6	97	1,00	
7	97	1,00		7	97	1,00	
8	97+Δ	1,00+Δ	Auflagerversch. t=0 [Tage]	8	97	1,00	Auflagerversch. t=0 [Tage]
9	wie LST 8	wie LST 8	t = 0,111	9	97	1,00	
10	"-	"-	t = 0,181	10	97	1,00	
11	"-	"-	t = 0,188	11	97+Δ	1,00+Δ	
12	"-	"-	t = 0,264	12	wie LST 11	wie LST 11	
13	"-	"-	t = 1,015	13	"-	"-	
14	"-	"-	t = 1,269	14	"-	"-	
15	"-	"-	t = 1,952	15	"-	"-	t = 0,208
16	"-	"-	t = 2,952	16	"-	"-	t = 0,215
17	"-	"-	t = 5,945	17	"-	"-	t = 0,271
18	"-	"-	t = 7,986	18	"-	"-	t = 0,969
19	"-	"-	t = 10,955	19	"-	"-	t = 1,250
20	"-	"-	t = 14,952	20	"-	"-	t = 1,938
21	"-	"-	t = 21,955	21	"-	"-	t = 2,969
22	"-	"-	t = 30,945	22	"-	"-	t = 5,944
23	"-	"-	t = 42,952	23	"-	"-	t = 7,937
24	"-	"-	t = 64,215	24	"-	"-	t = 9,937
25	"-	"-	t = 85,136	25	"-	"-	t = 14,951
26	"-	"-	t = 119,931	26	"-	"-	t = 21,951
27	"-	"-	t = 120,678	27	"-	"-	t = 31,104
28	wie LST 8	wie LST 8	t = 120,699	28	"-	"-	t = 43,208
29	120+Δ	1,24+Δ	Bruchlast	29	"-	"-	t = 64,128
30	140+Δ	1,44+Δ		30	wie LST 11	wie LST 11	t = 85,076
31	160+Δ	1,65+Δ		31	120+Δ	1,24+Δ	t = 120,208
32	97+Δ	1,00+Δ		32	140+Δ	1,44+Δ	t = 120,954
33	97+Δ	1,00+Δ		33	160+Δ	1,65+Δ	
34	160+Δ	1,65+Δ		34	97+Δ	1,00+Δ	
35	180+Δ	1,86+Δ		35	97+Δ	1,00+Δ	
36	200+Δ	2,06+Δ		36	160+Δ	1,65+Δ	
				37	180+Δ	1,86+Δ	
				38	180+Δ	1,86+Δ	
				39	200+Δ	2,06+Δ	Bruchlast

Tab. 5.2 : Zusammenstellung der Laststufen für B V und B VI

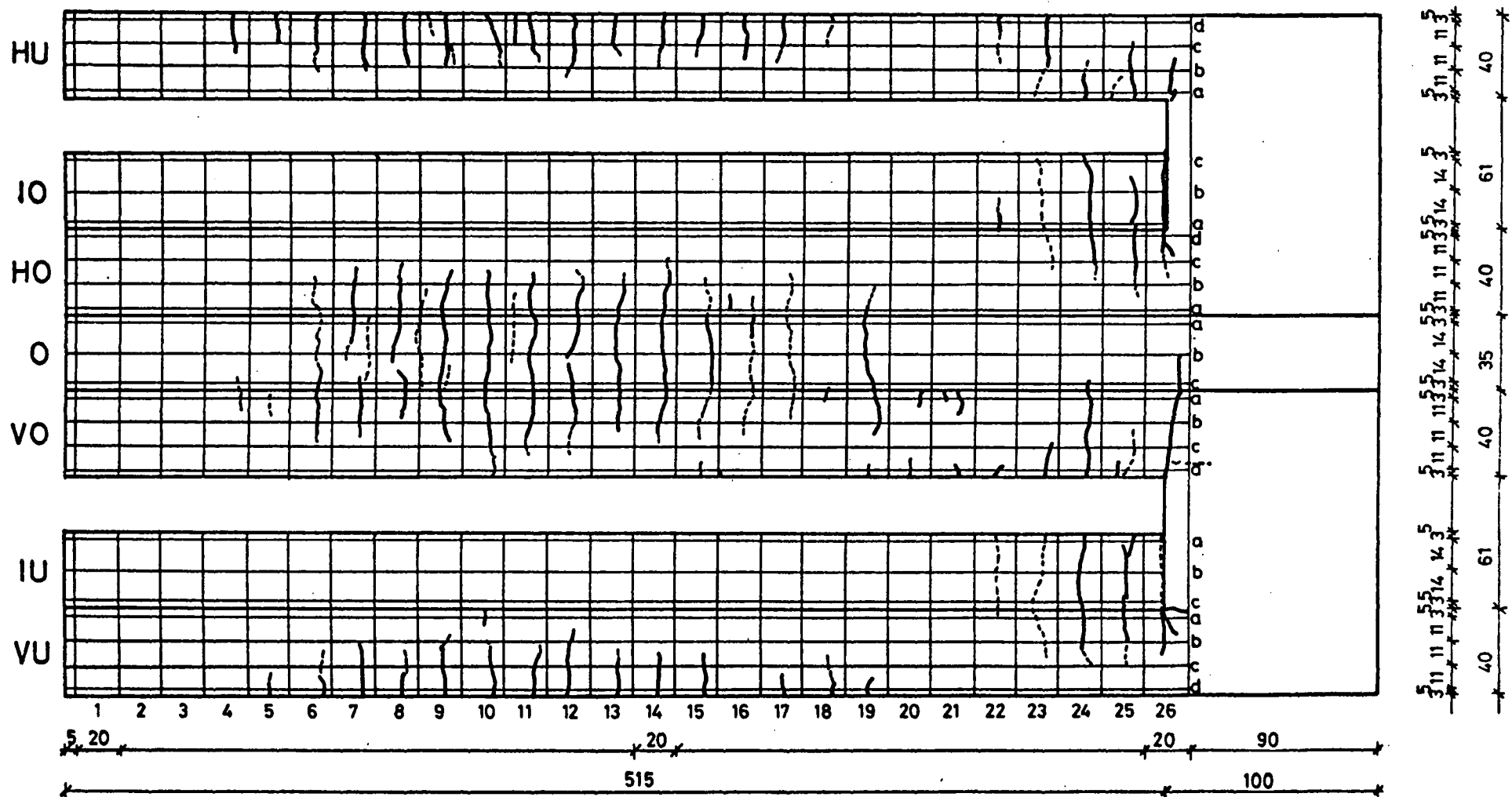


Bild 6.5 : Rißbild von Versuchskörper B III in Laststufe 5

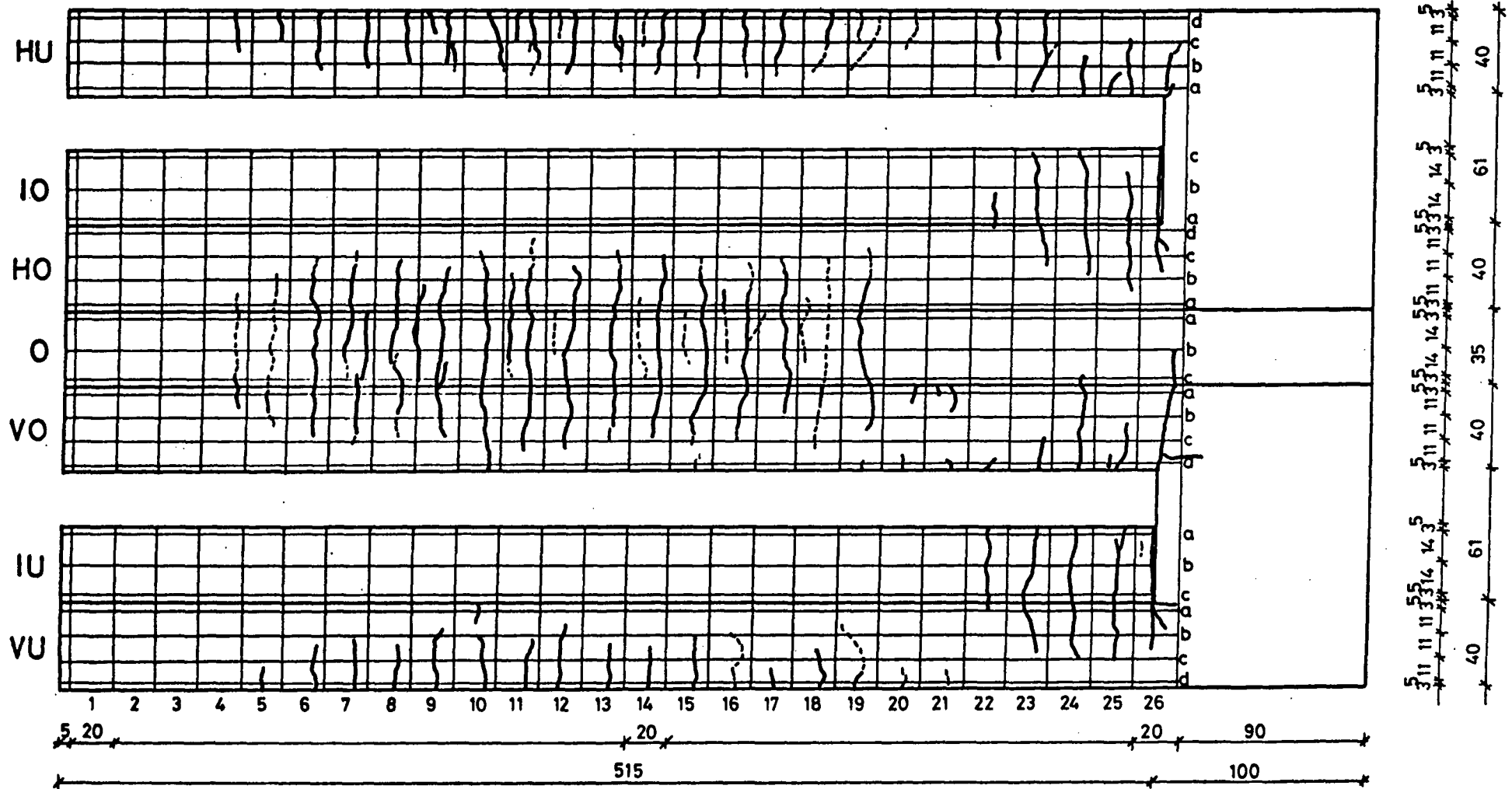


Bild 6.6 : Rißbild von Versuchskörper B III in Laststufe 9

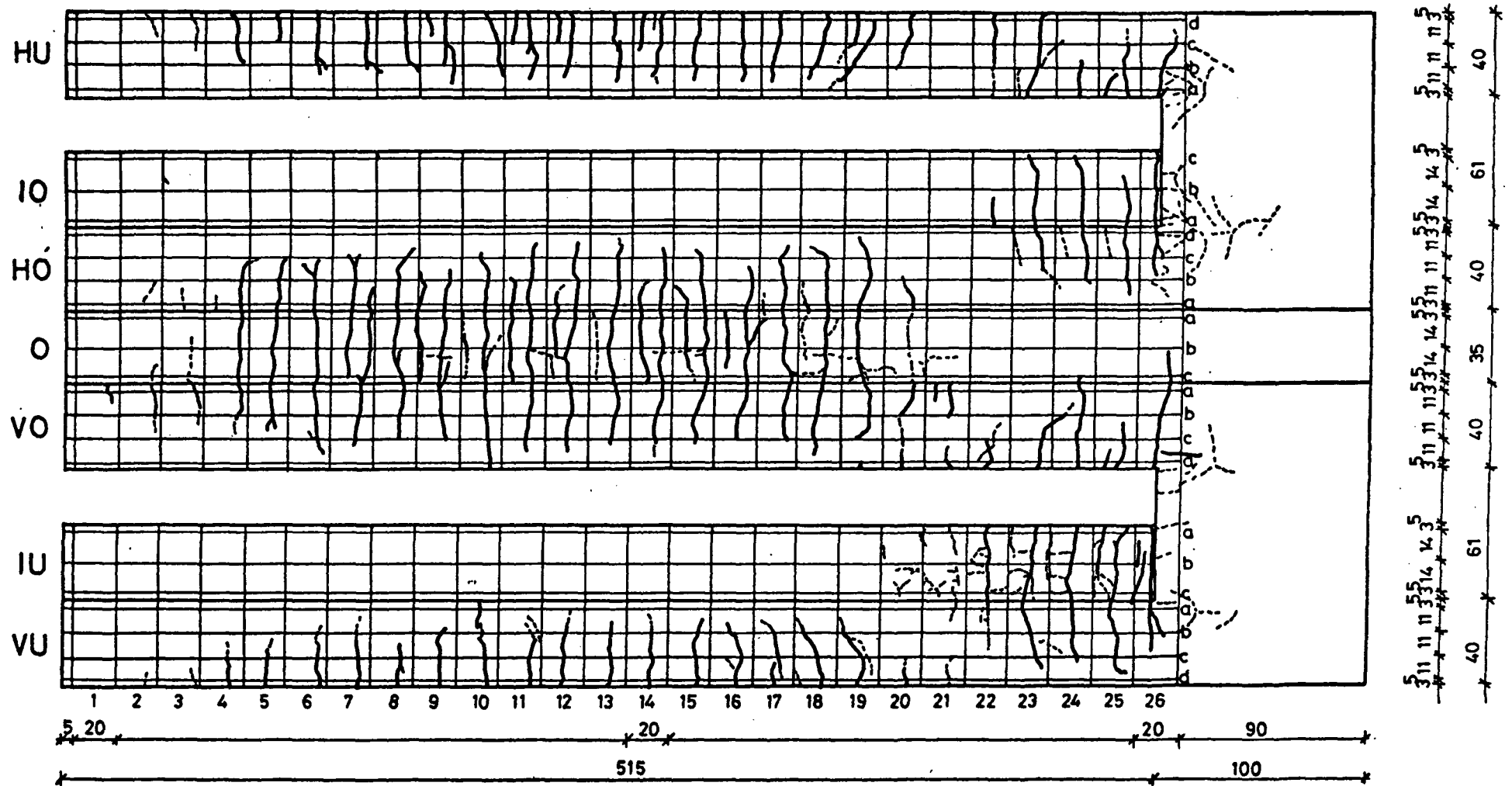


Bild 6.10 : Reißbild von Versuchskörper B III in Laststufe 25

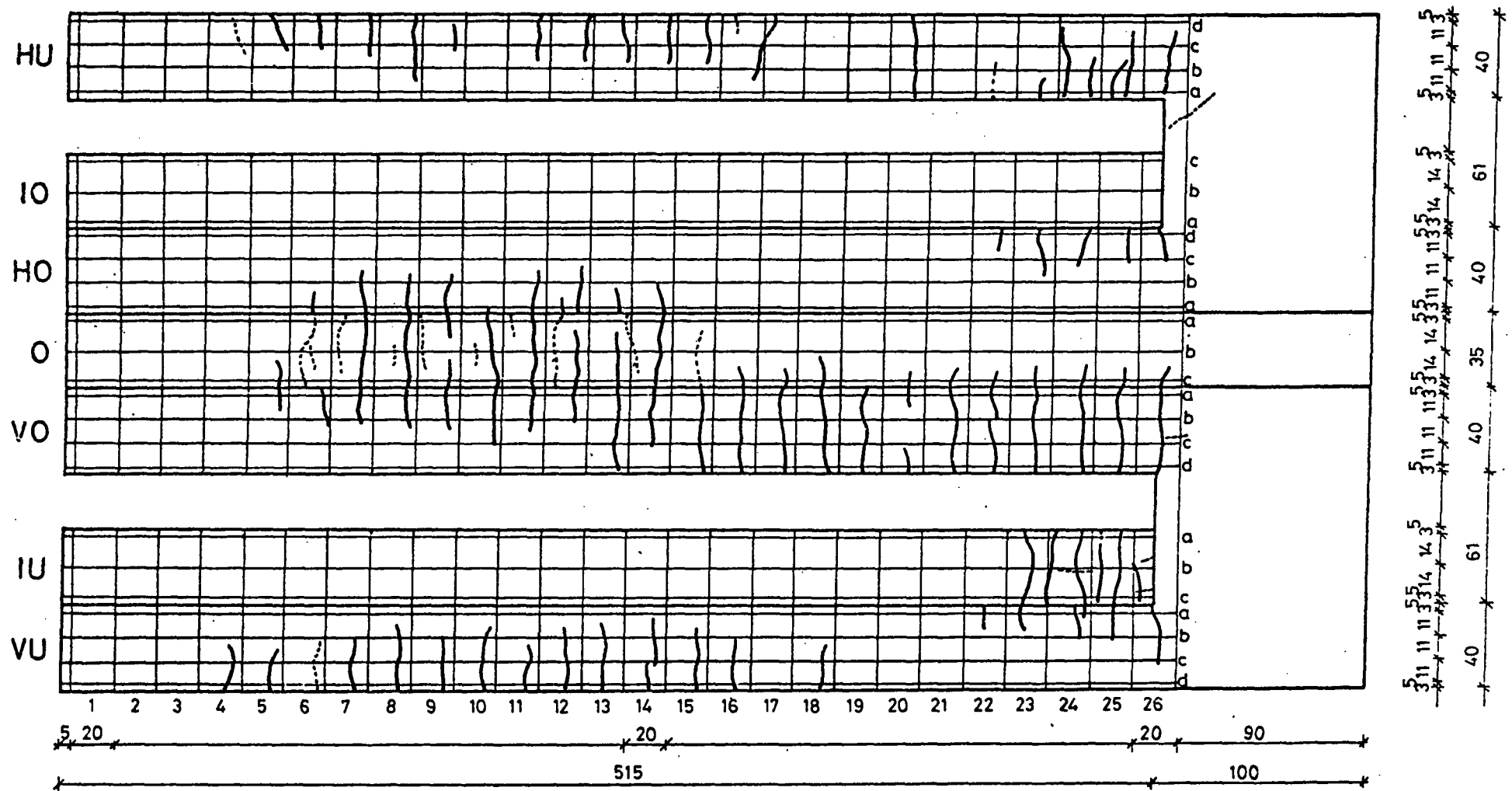


Bild 6.22 : Reißbild von Versuchskörper B IV in Laststufe 6

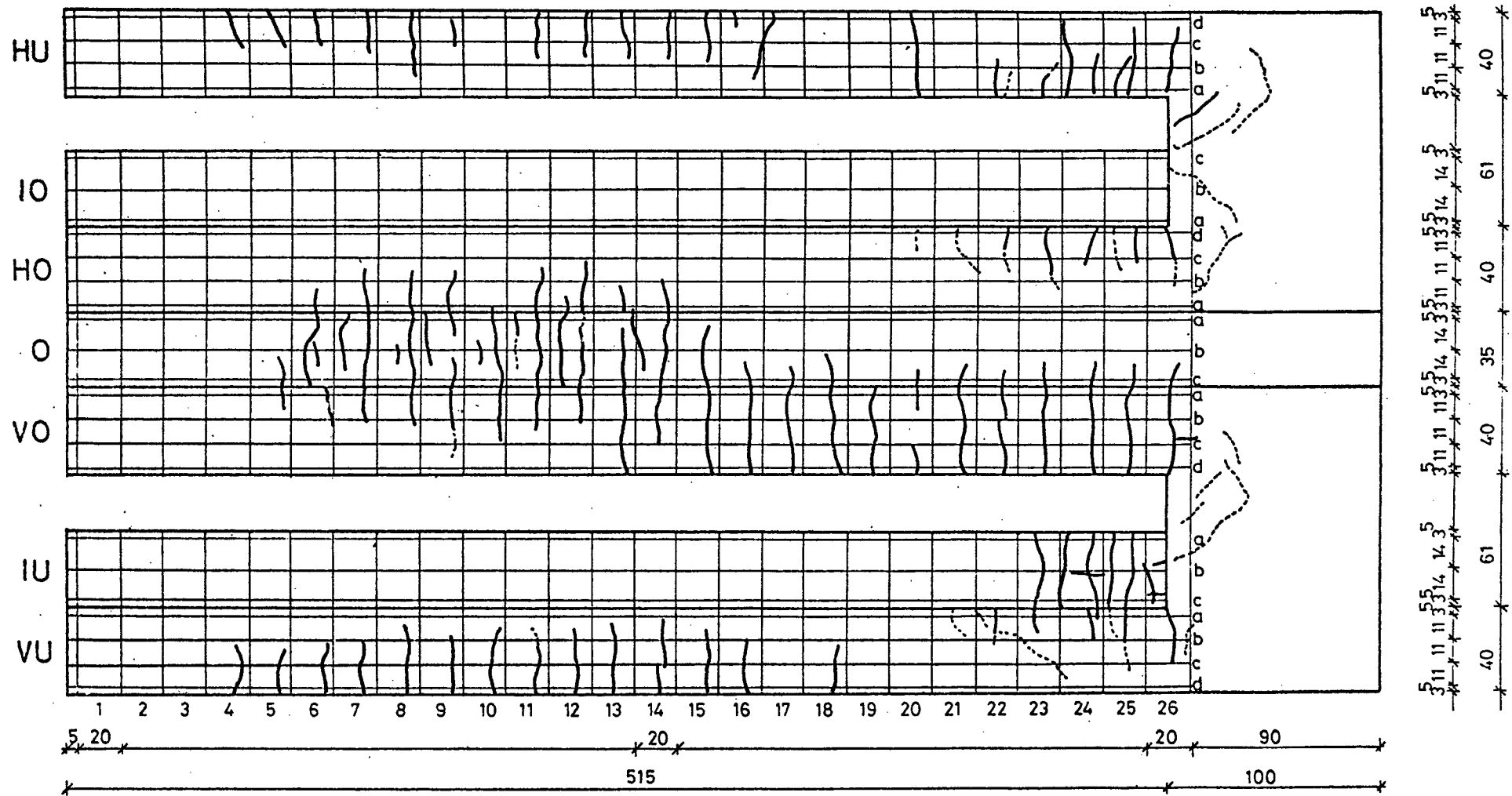


Bild 6.23 : Rißbild von Versuchskörper B IV in Laststufe 7

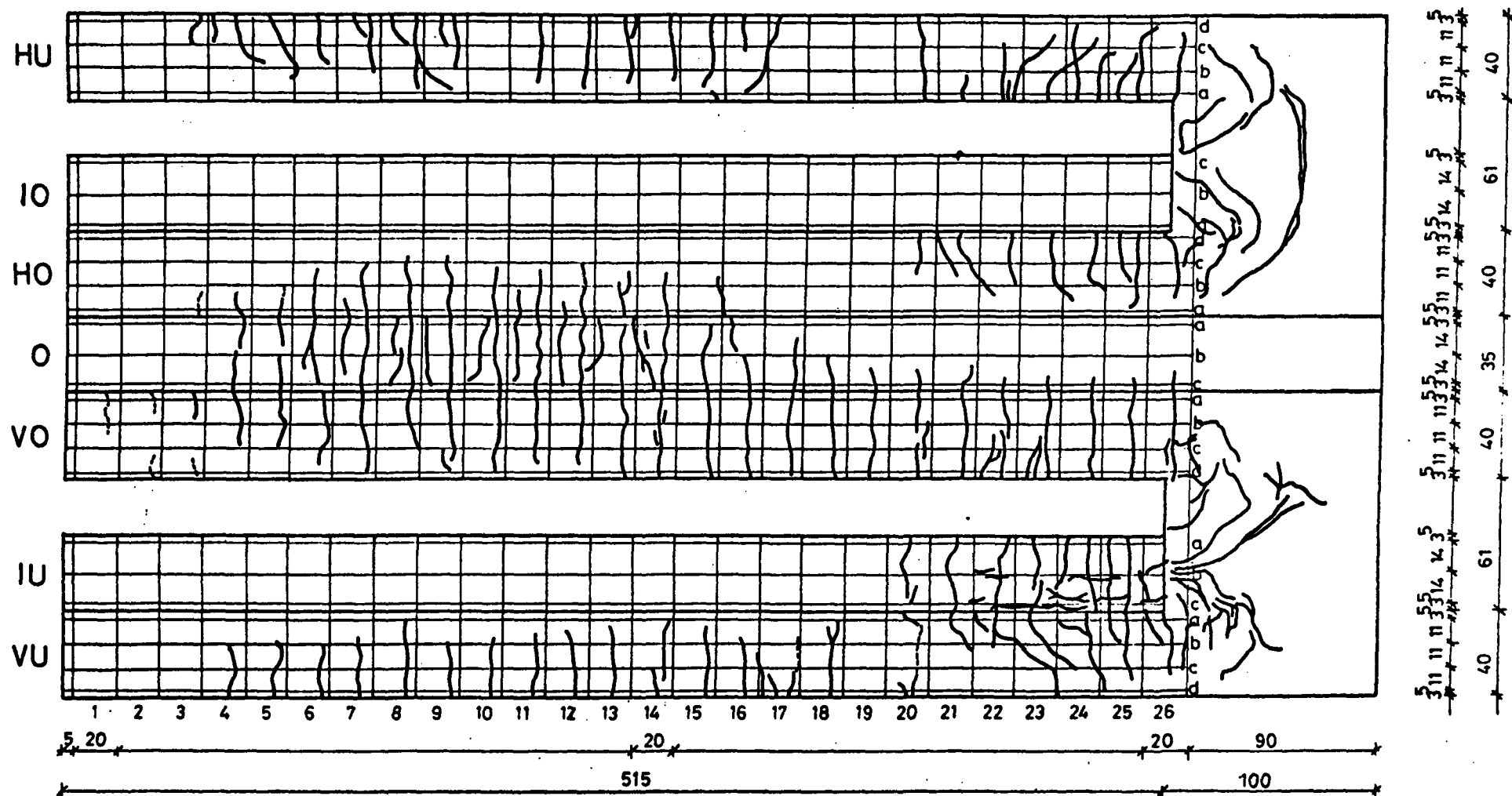


Bild 6.34 : Rißbild von Versuchskörper B IV in Laststufe 23

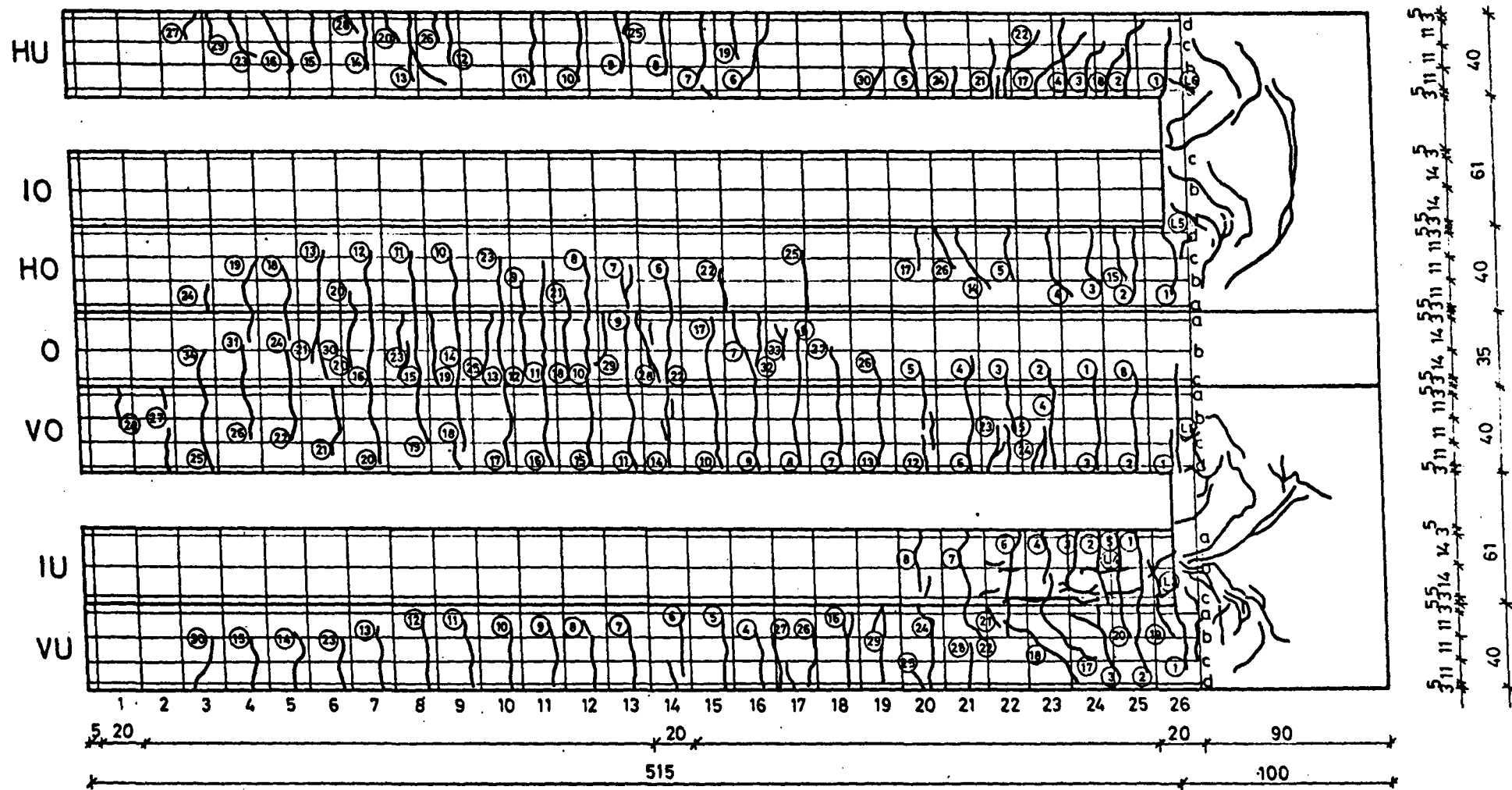


Bild 6.38 : Rißbild von Versuchskörper B IV in Laststufe 33
mit Angabe der Rißnummern

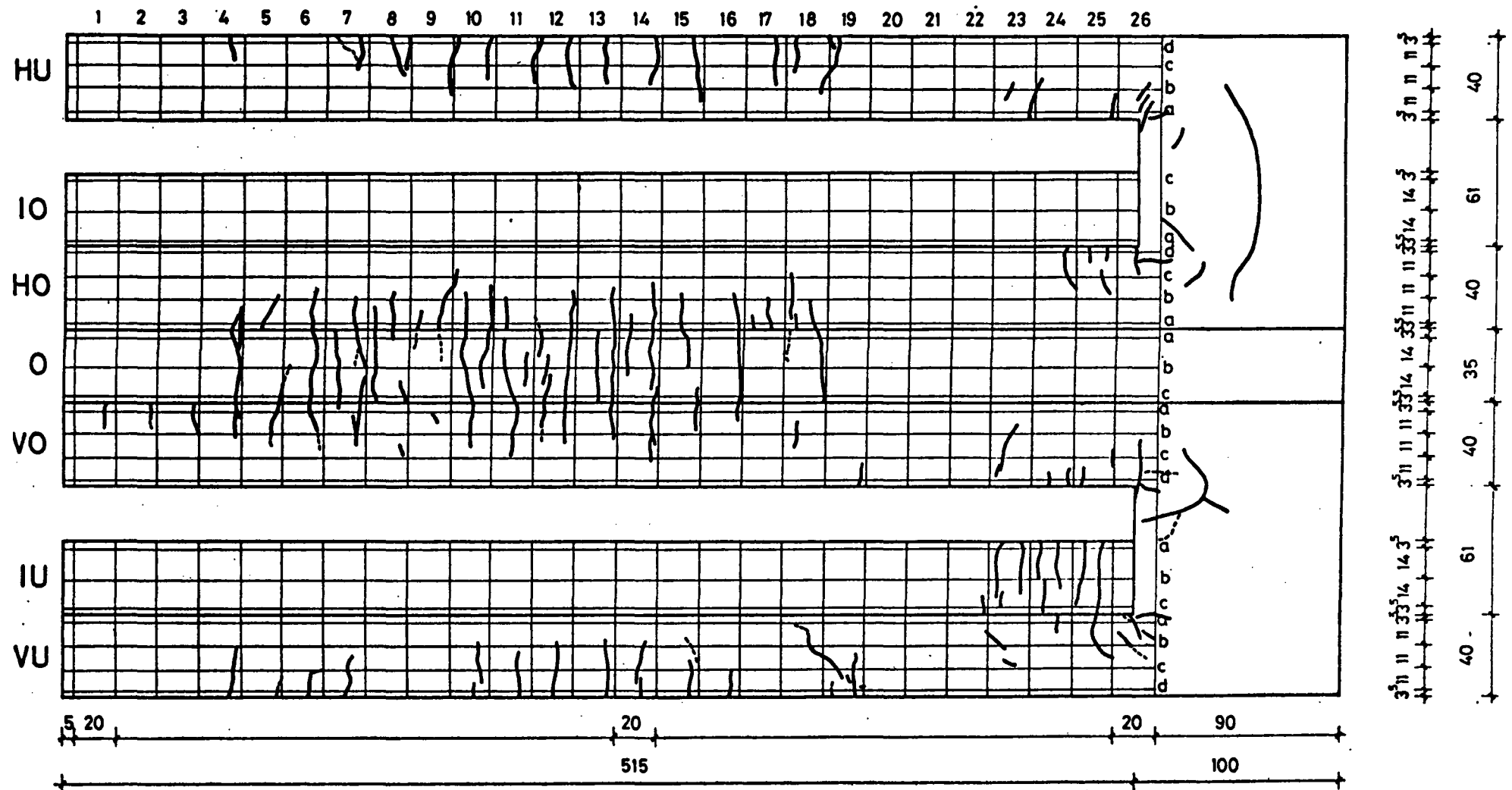


Bild 6.43 : Rißbild von Versuchskörper B V in Laststufe 7

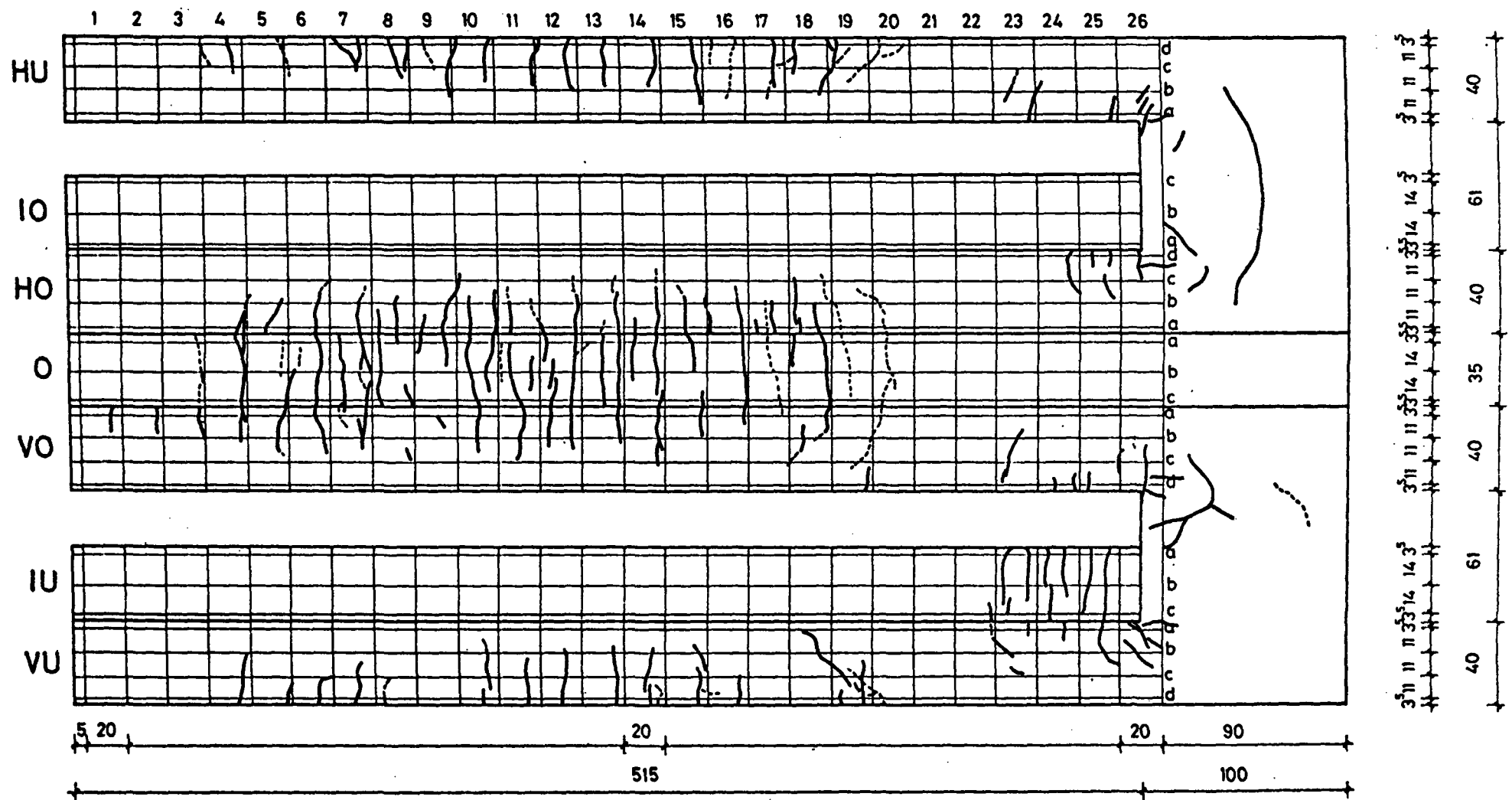


Bild 6.44 : Rißbild von Versuchskörper B V in Laststufe 8

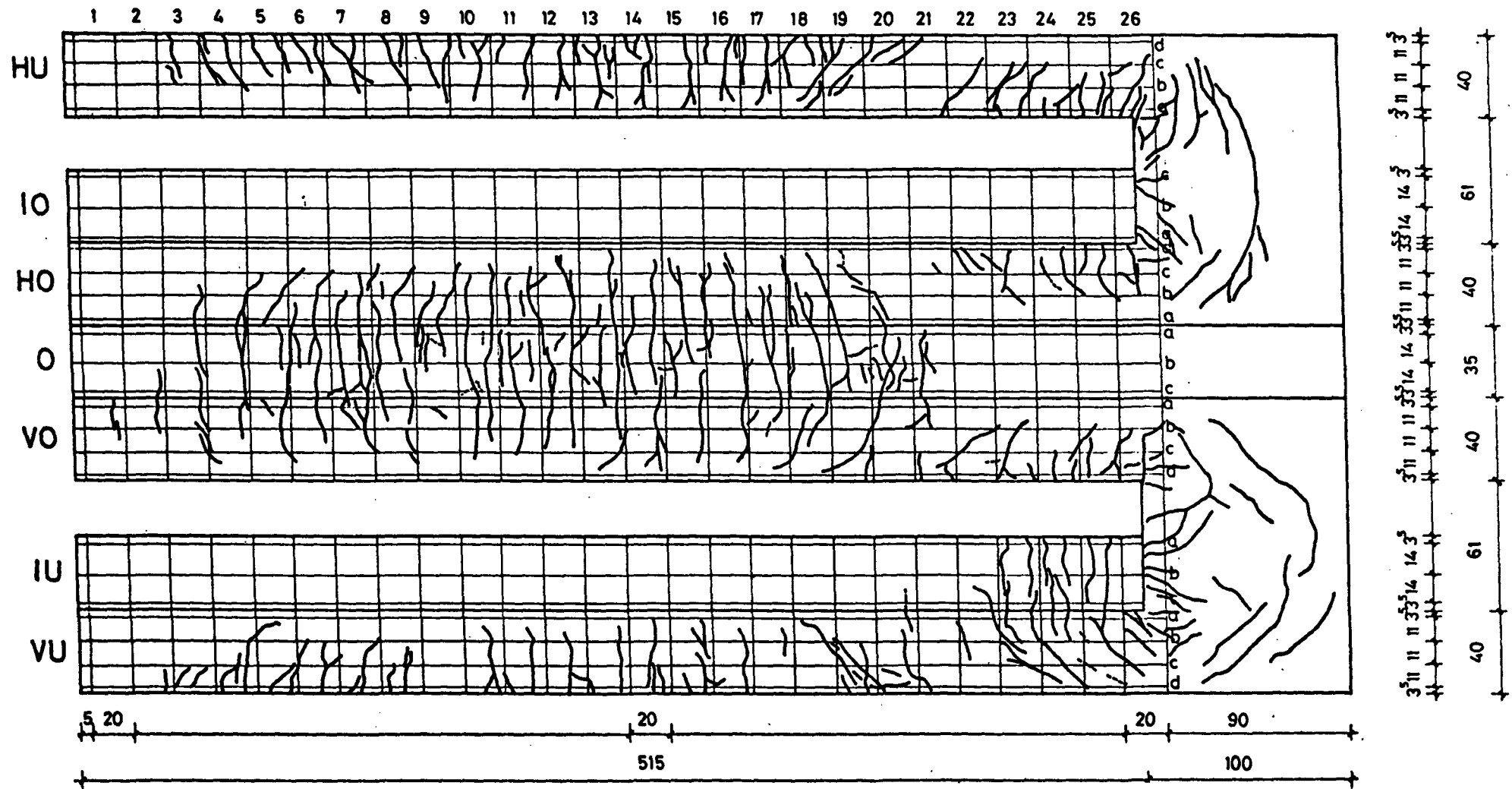


Bild 6.56 : Rißbild von Versuchskörper B V in Laststufe 25

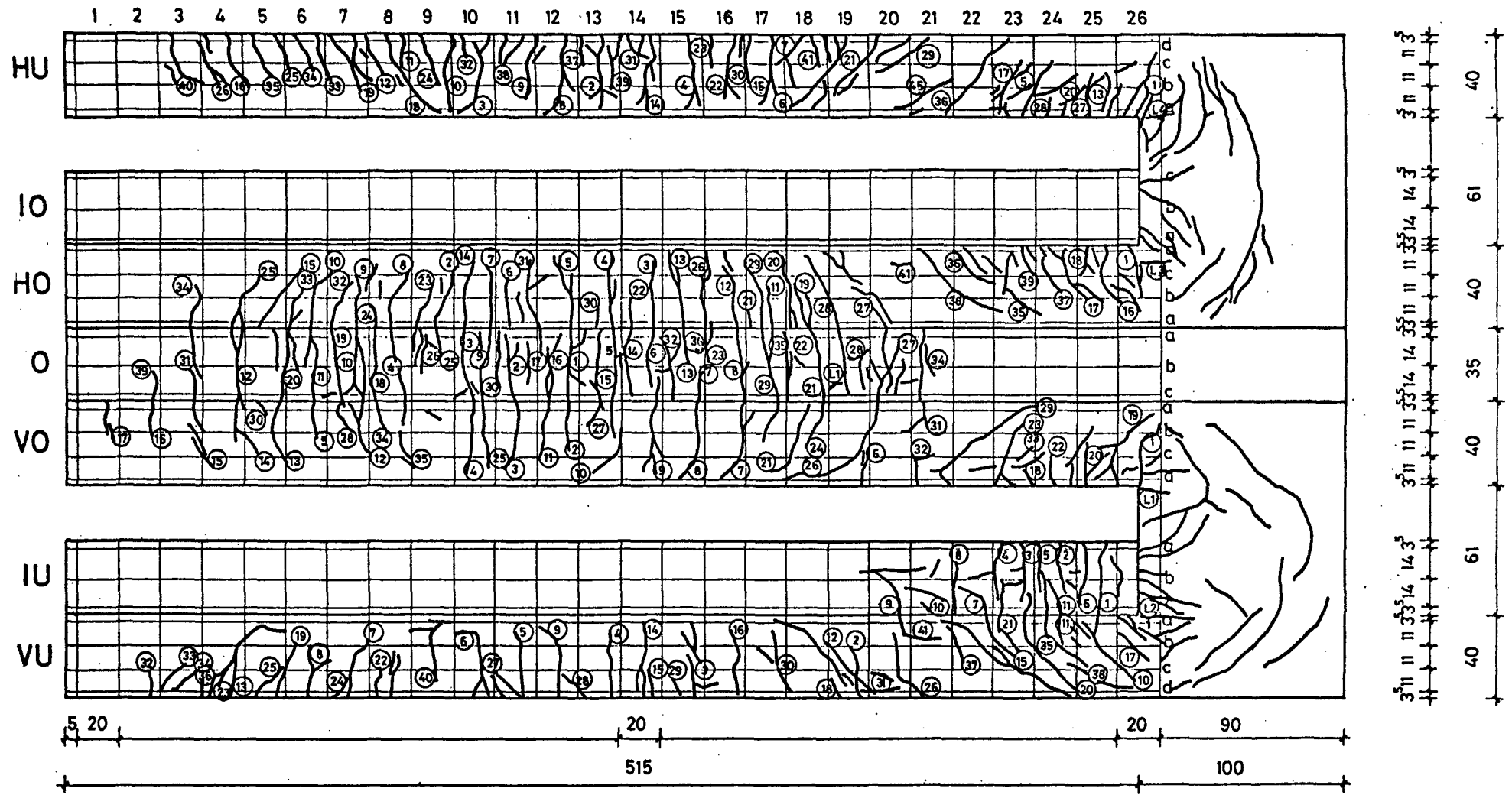


Bild 6.60 : Rißbild von Versuchskörper B V in Laststufe 35
mit Angabe der Rißnummern

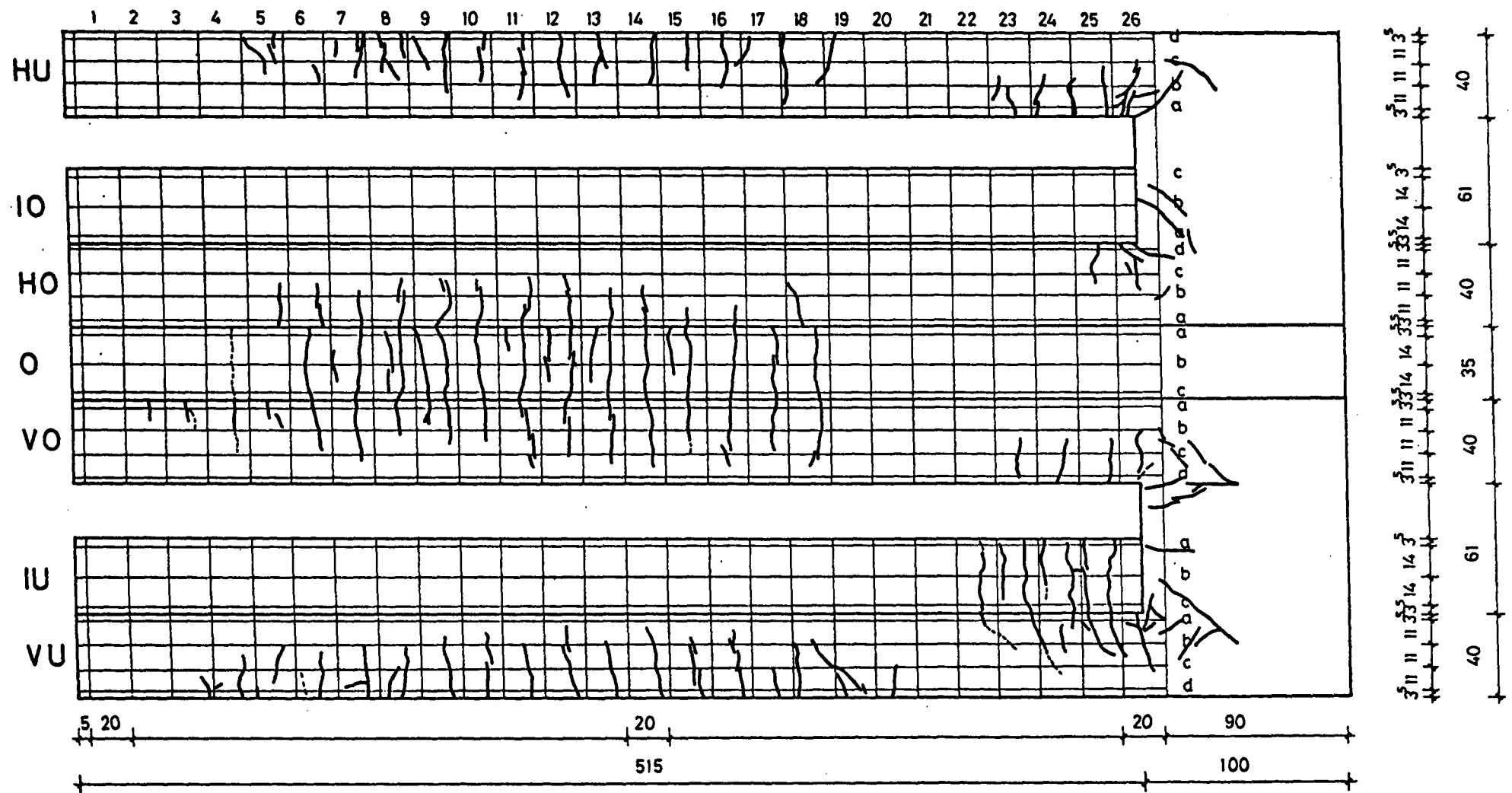


Bild 6.66: Rißbild von Versuchskörper BVI in Laststufe 9

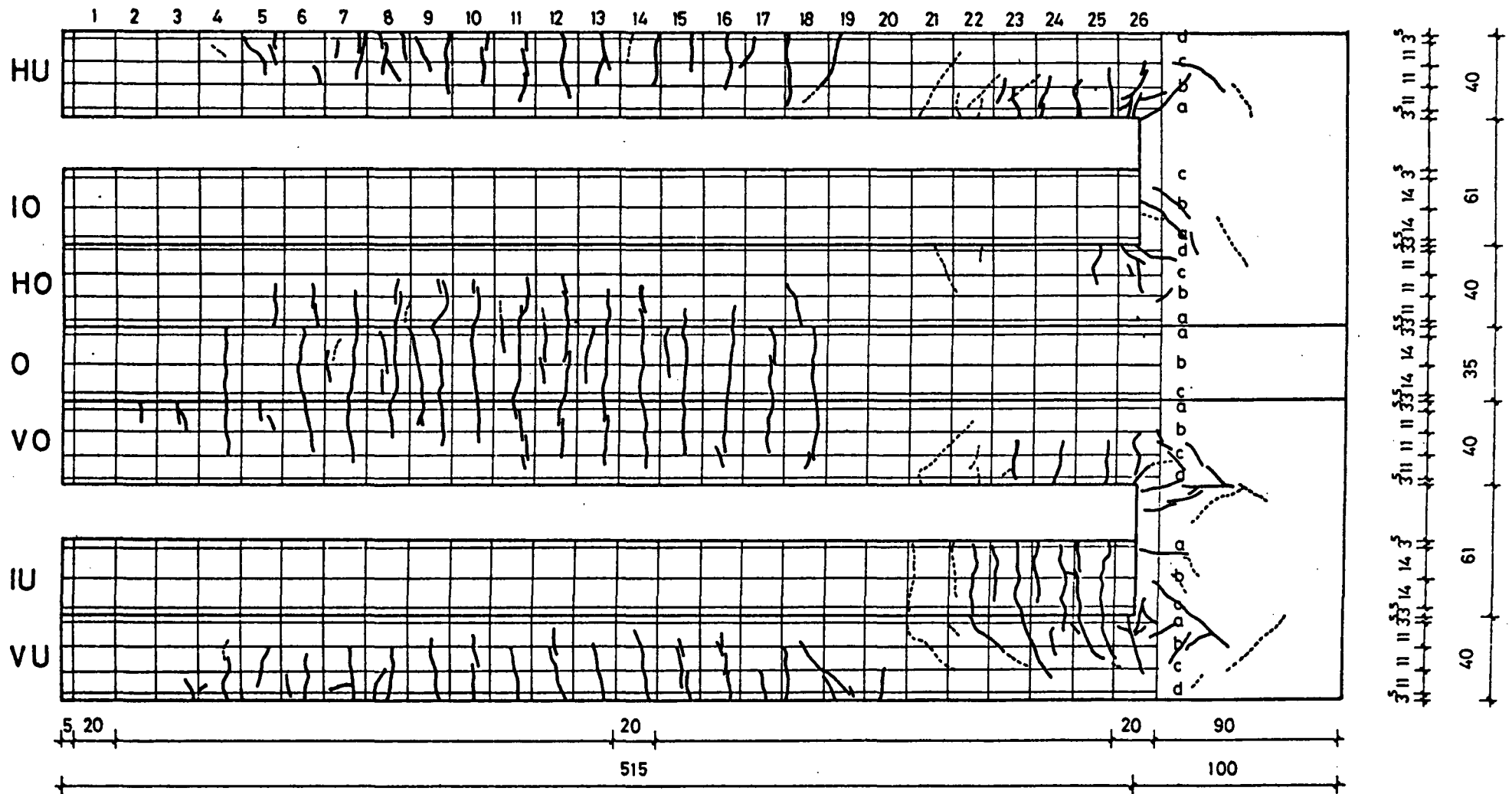


Bild 6.67 : Rißbild von Versuchskörper BVI in Laststufe 11

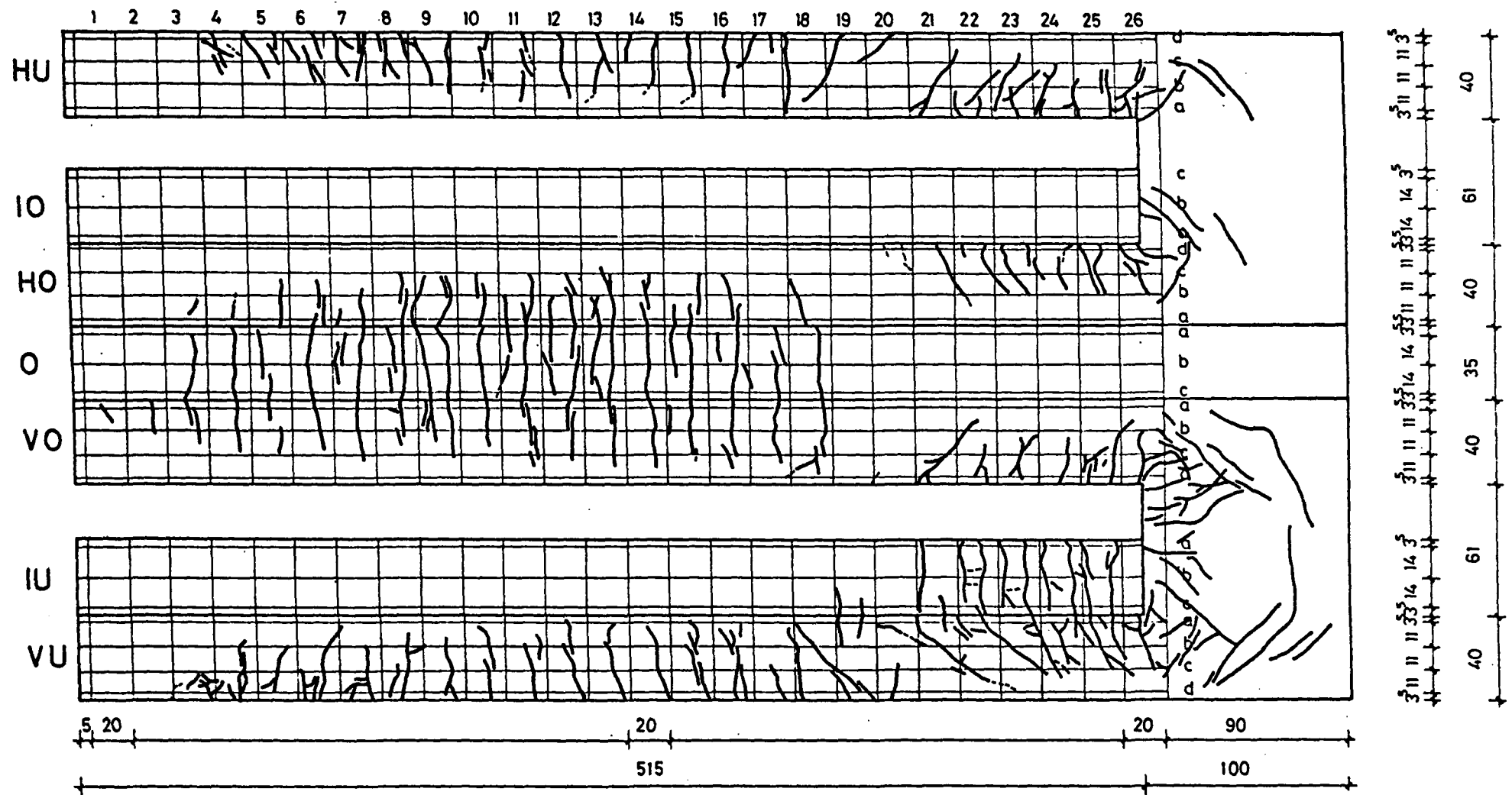


Bild 6.79: Rißbild von Versuchskörper BVI in Laststufe 28 - 30

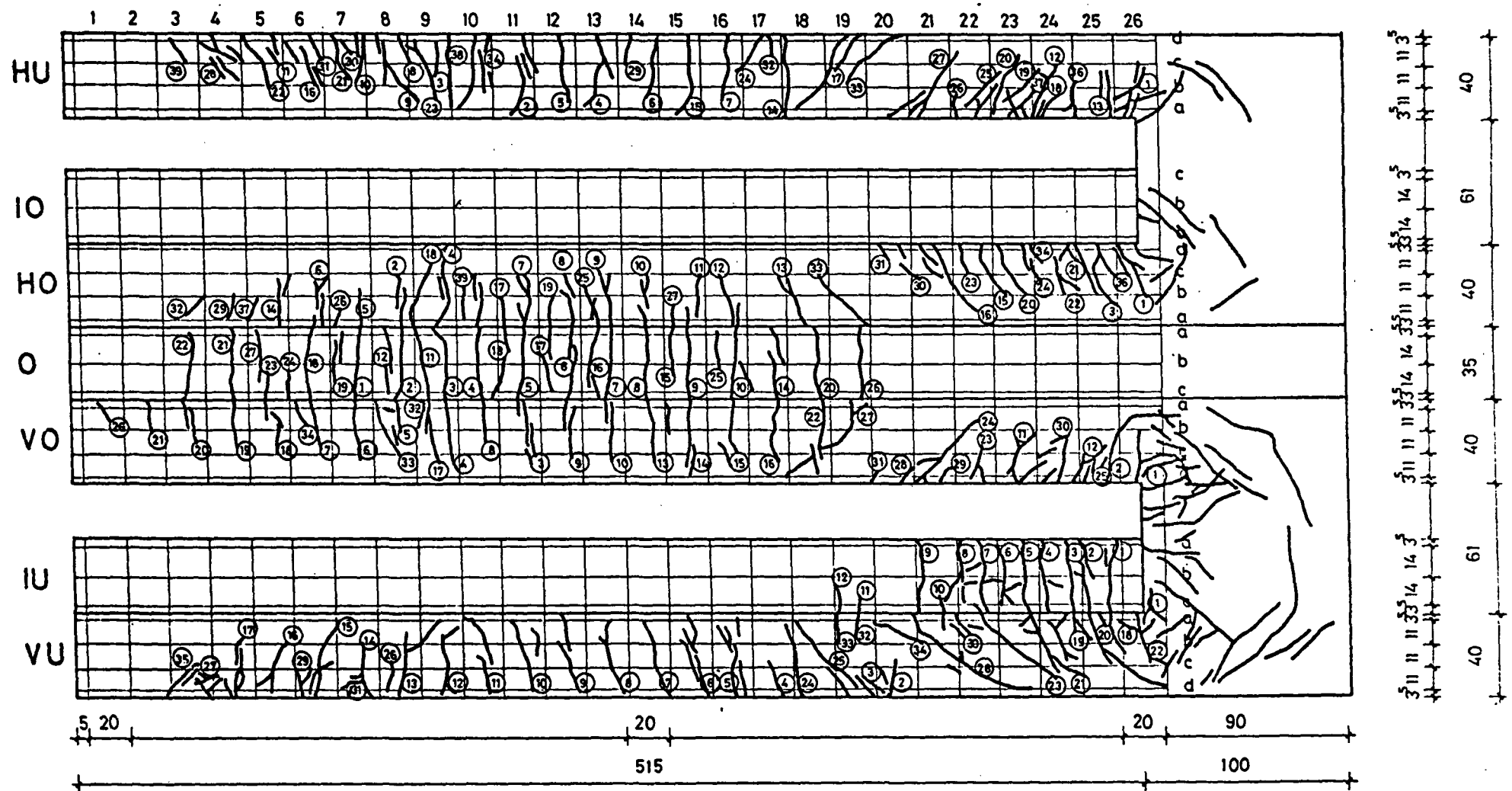
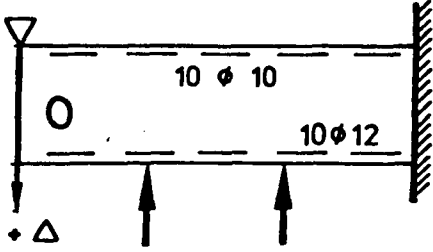
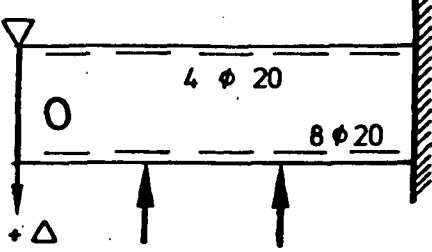
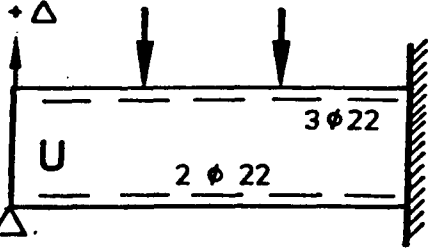
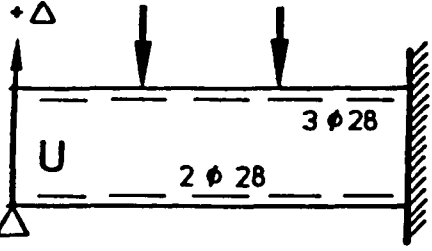
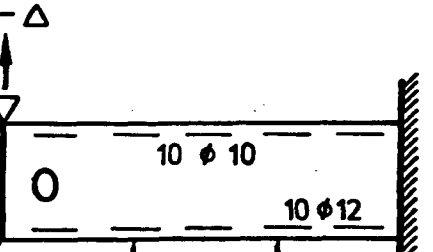
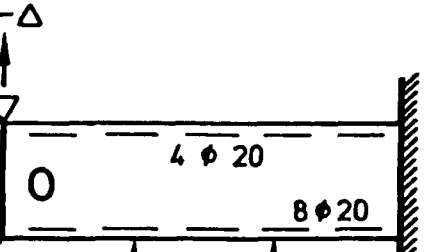
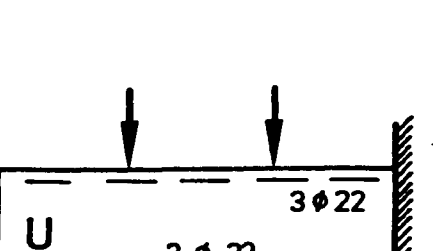
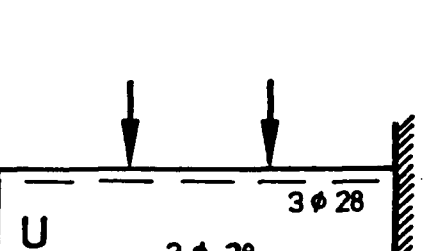


Bild 6.84: Rißbild von Versuchskörper BVI in Laststufe 37
mit Angabe der Rißnummern

B III		μ [%]	$\frac{d_e}{\mu}$	B V		μ [%]	$\frac{d_e}{\mu}$
	0,55	182		0,9	222		
	0,80	125		1,8	111		
	0,80	275		1,8	156		
	0,55	400		0,9	311		
B IV		μ [%]	$\frac{d_e}{\mu}$	B VI		μ [%]	$\frac{d_e}{\mu}$
	0,55	182		0,9	222		
	0,80	125		1,8	111		
	0,80	275		1,8	156		
	0,55	400		0,9	111		

Tab. 6.1. Versuchsp Parameter, Bewehrungsaufteilung und Verbundparameter

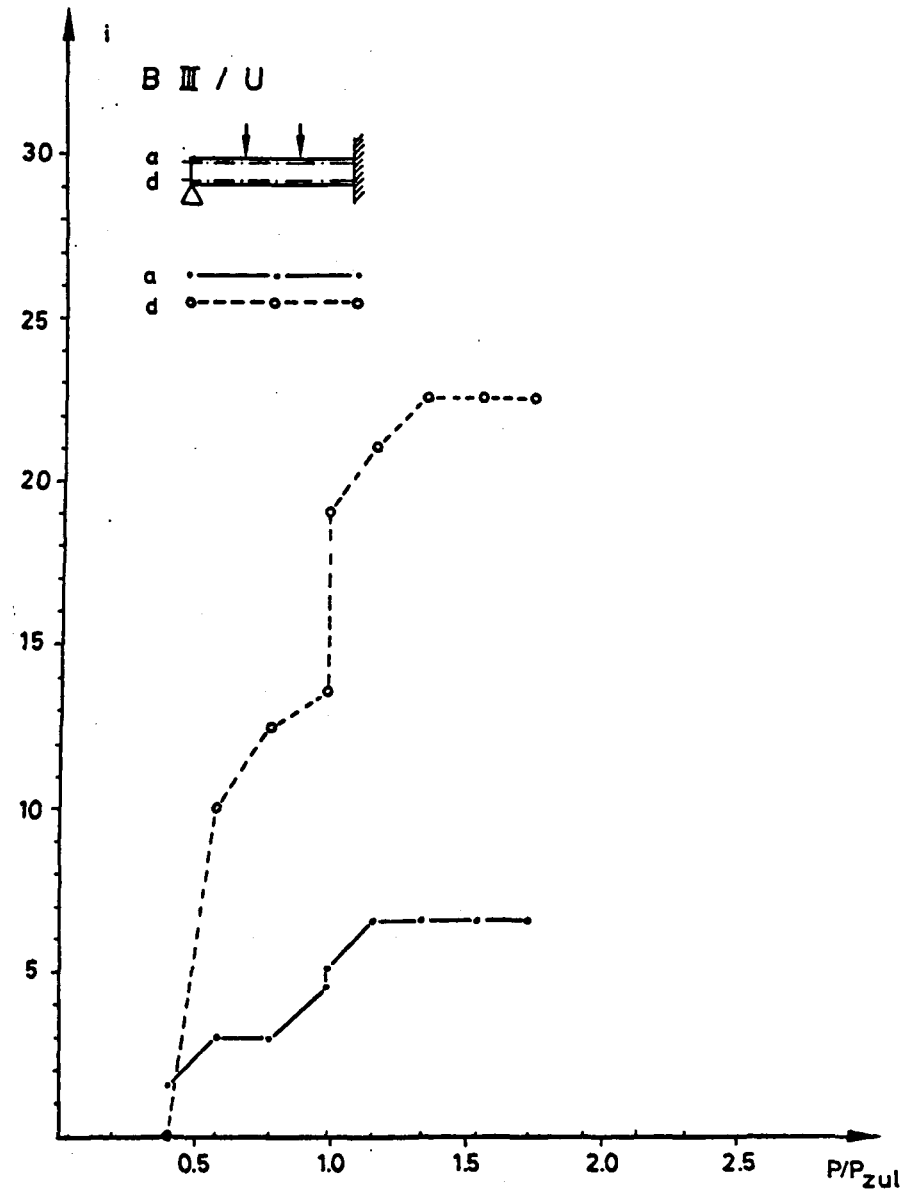
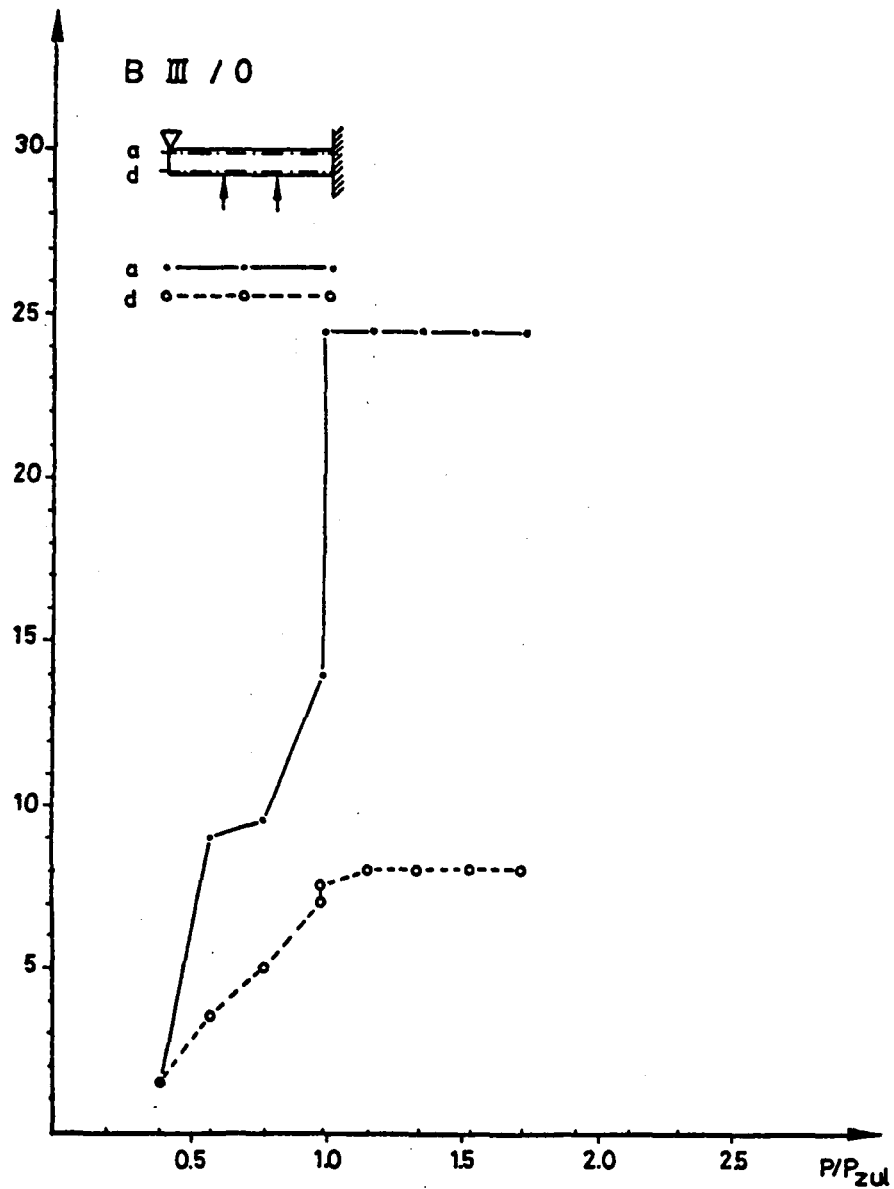


Bild 6.85: Anzahl der Risse von Versuchskörper BIII in Abhängigkeit von der Last

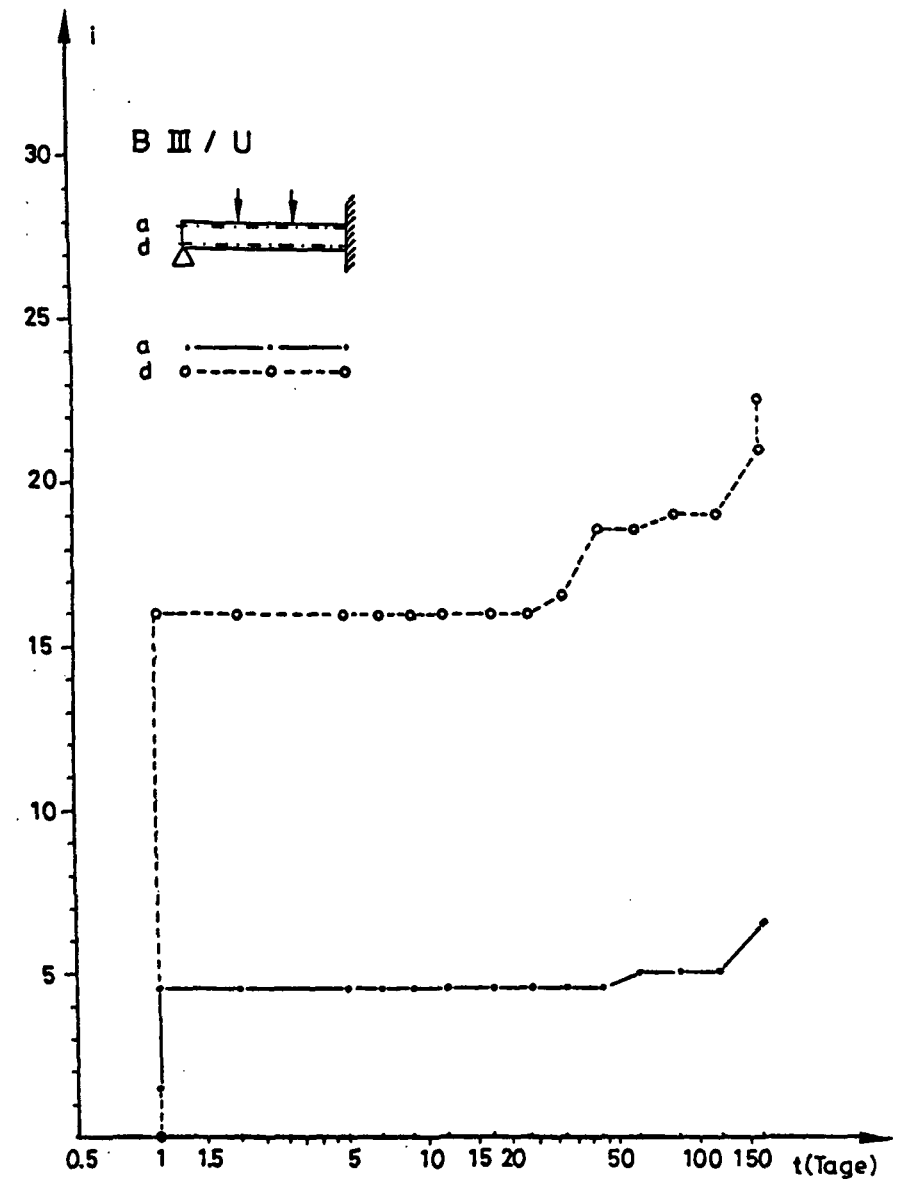
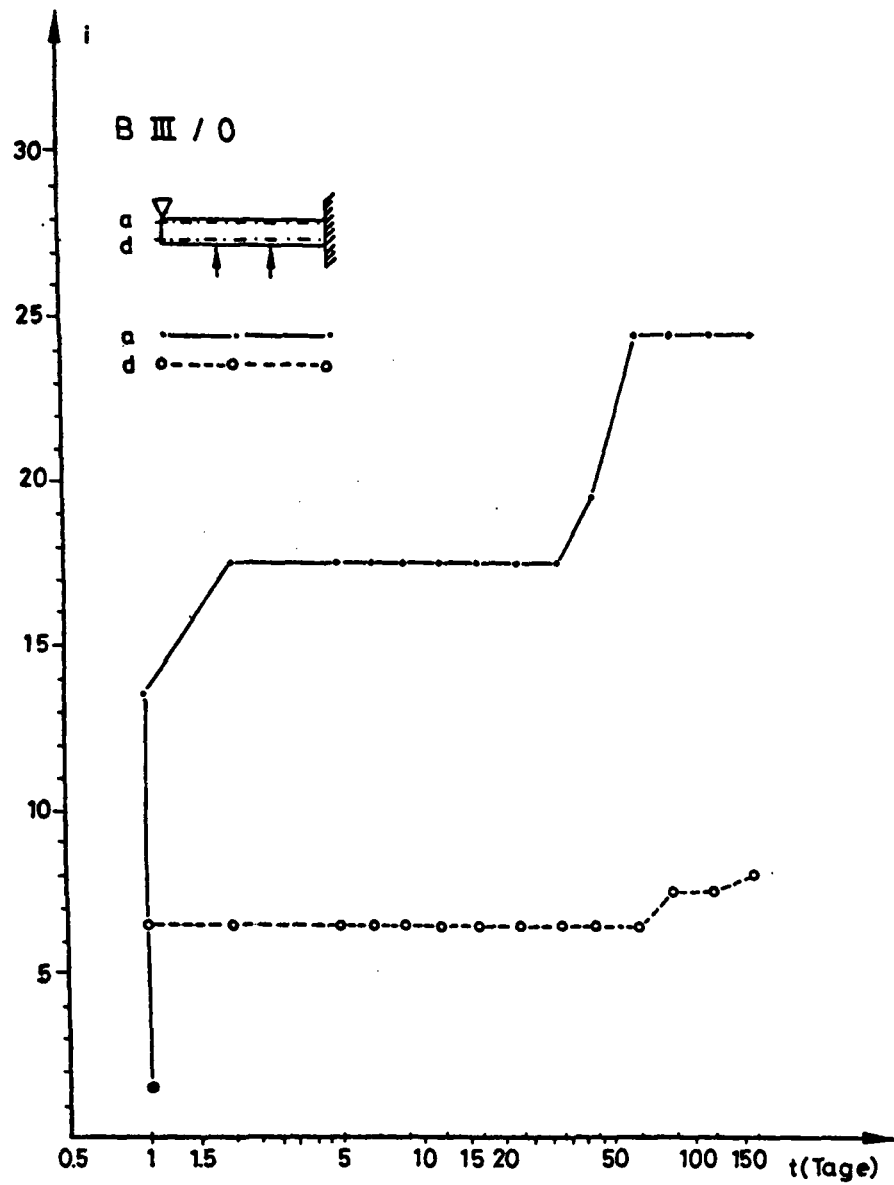


Bild 6.86: Anzahl der Risse von Versuchskörper BIII in Abhängigkeit von der Zeit

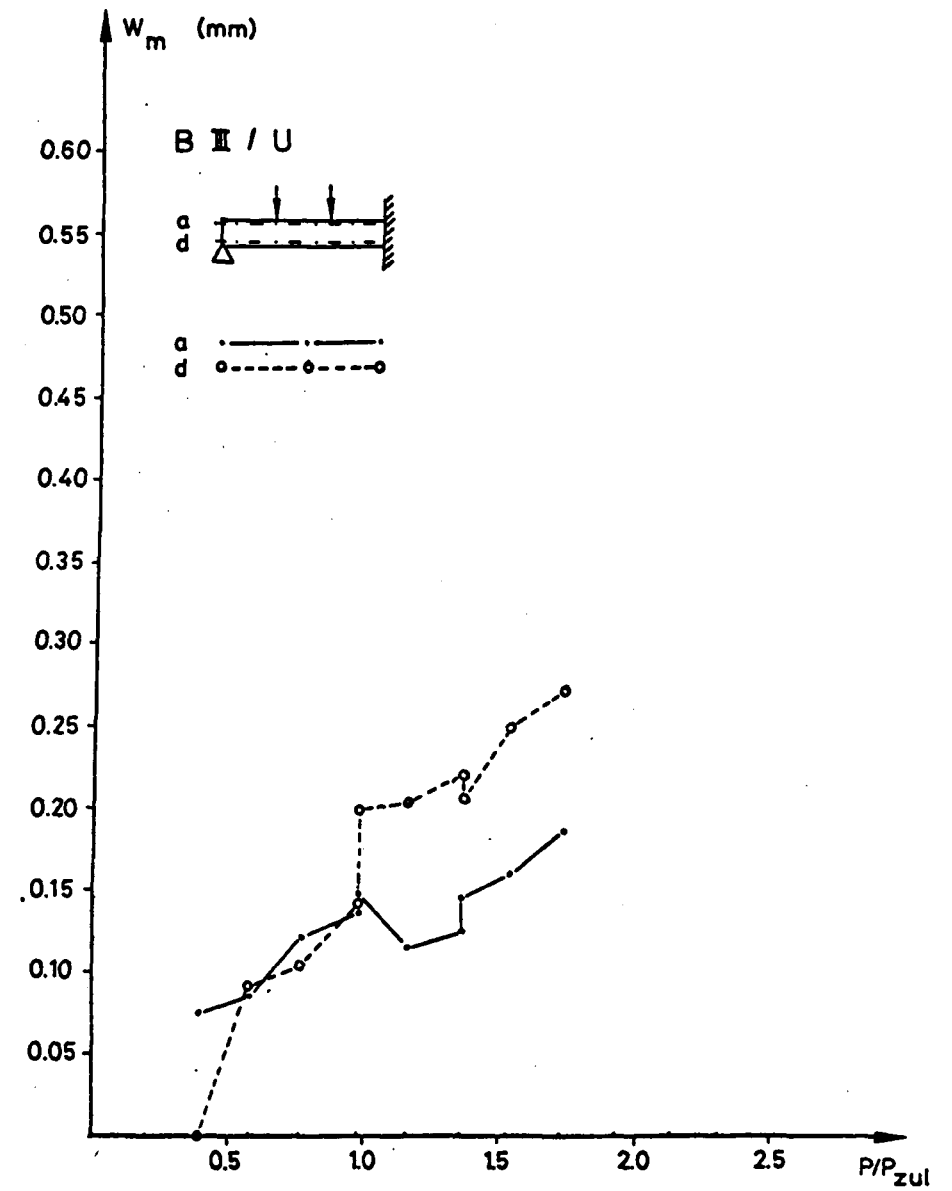
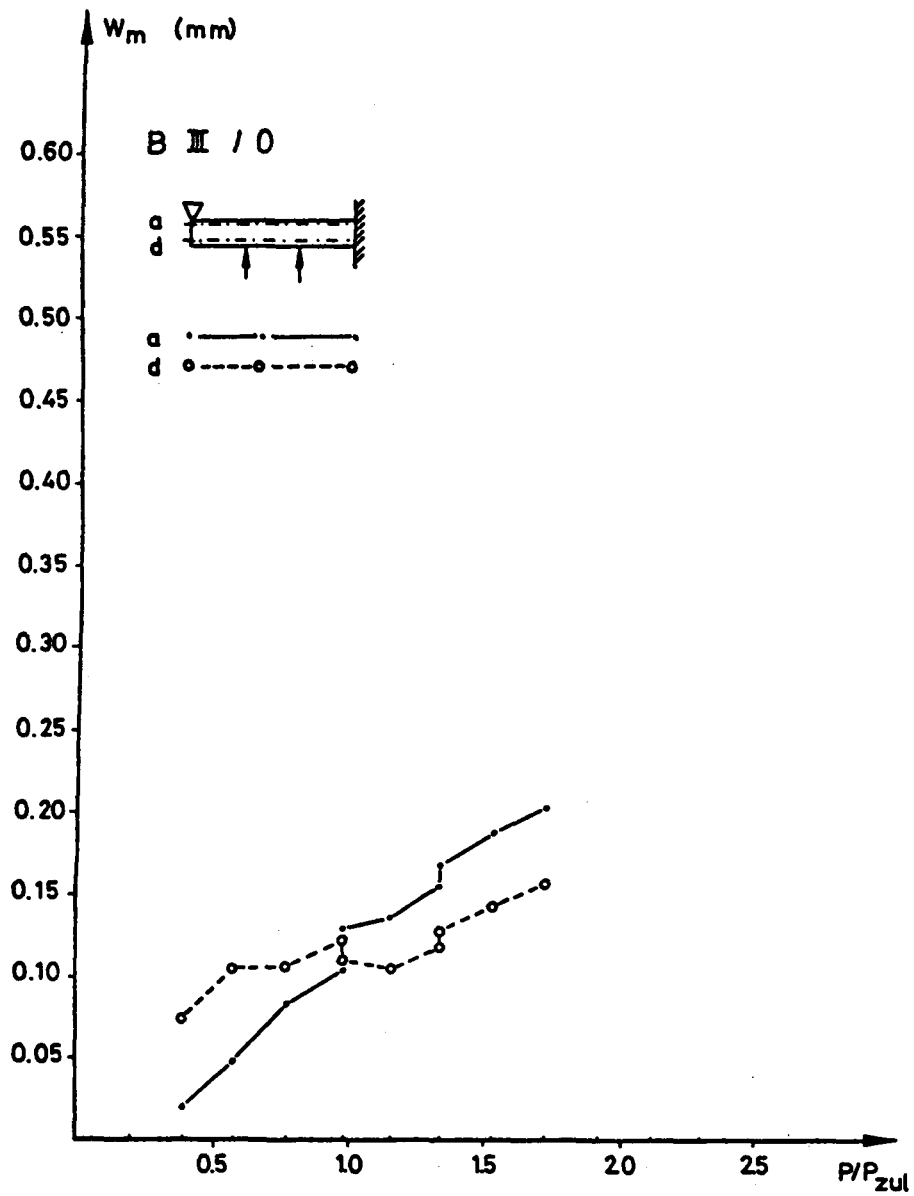


Bild 6.87: Mittlere Rißbreite von Versuchskörper BIII in Abhängigkeit von der Last

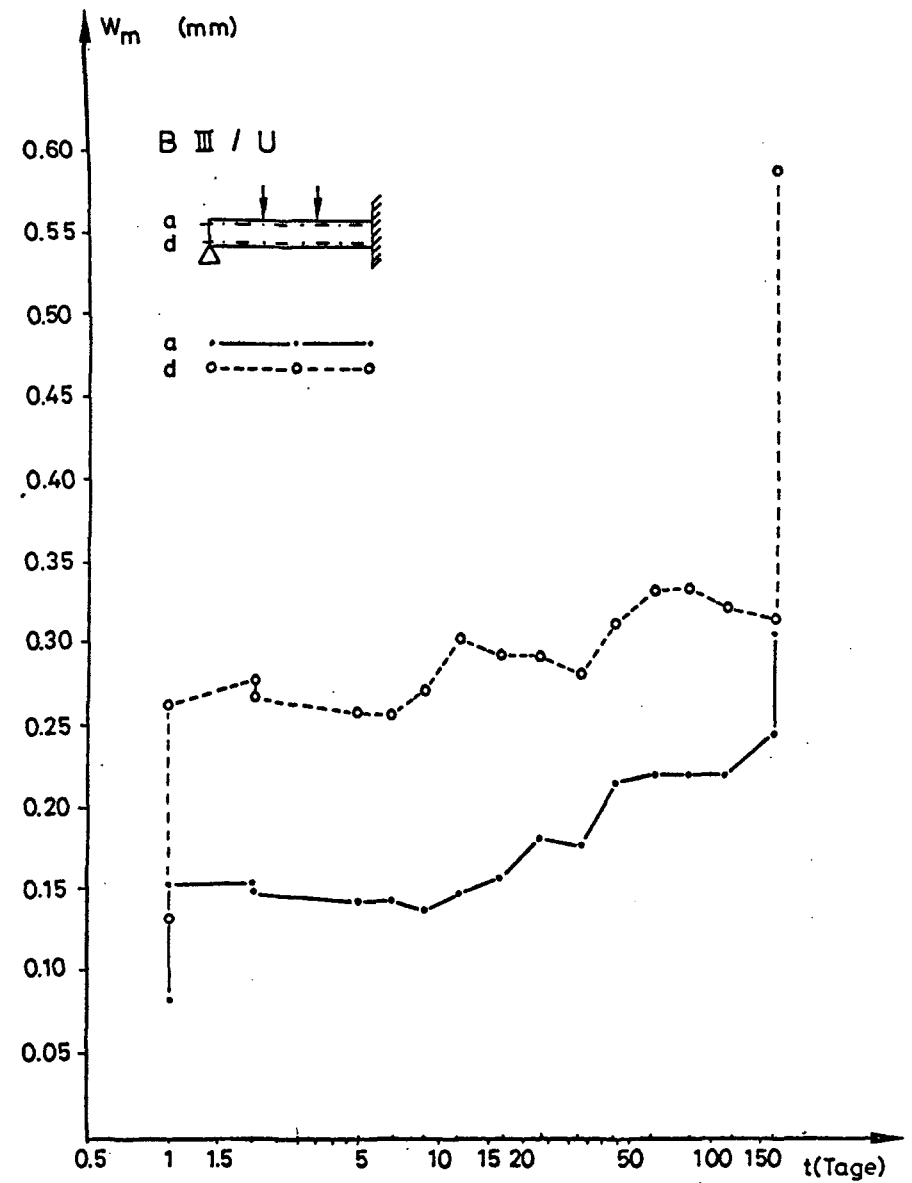
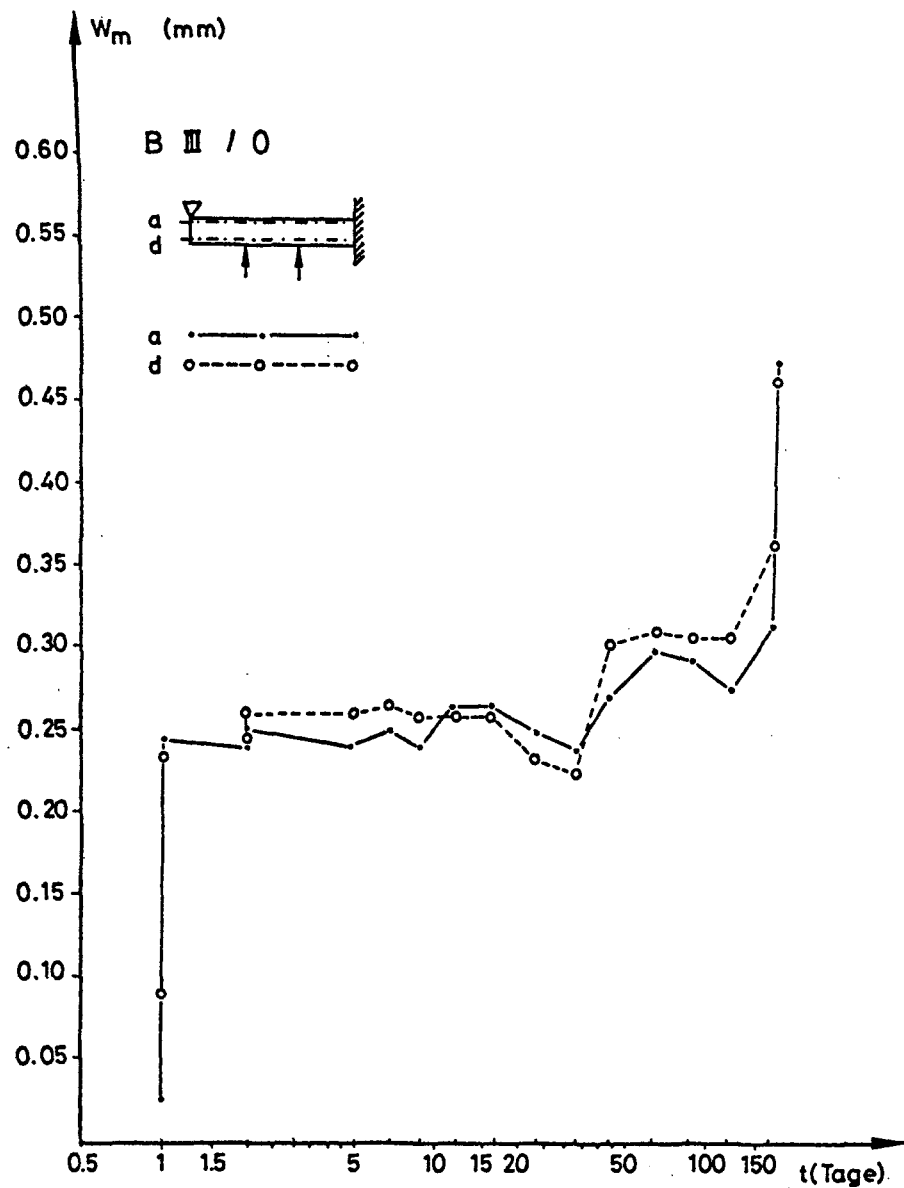


Bild 6.88: Mittlere Rißbreite von Versuchskörper BIII in Abhängigkeit von der Zeit

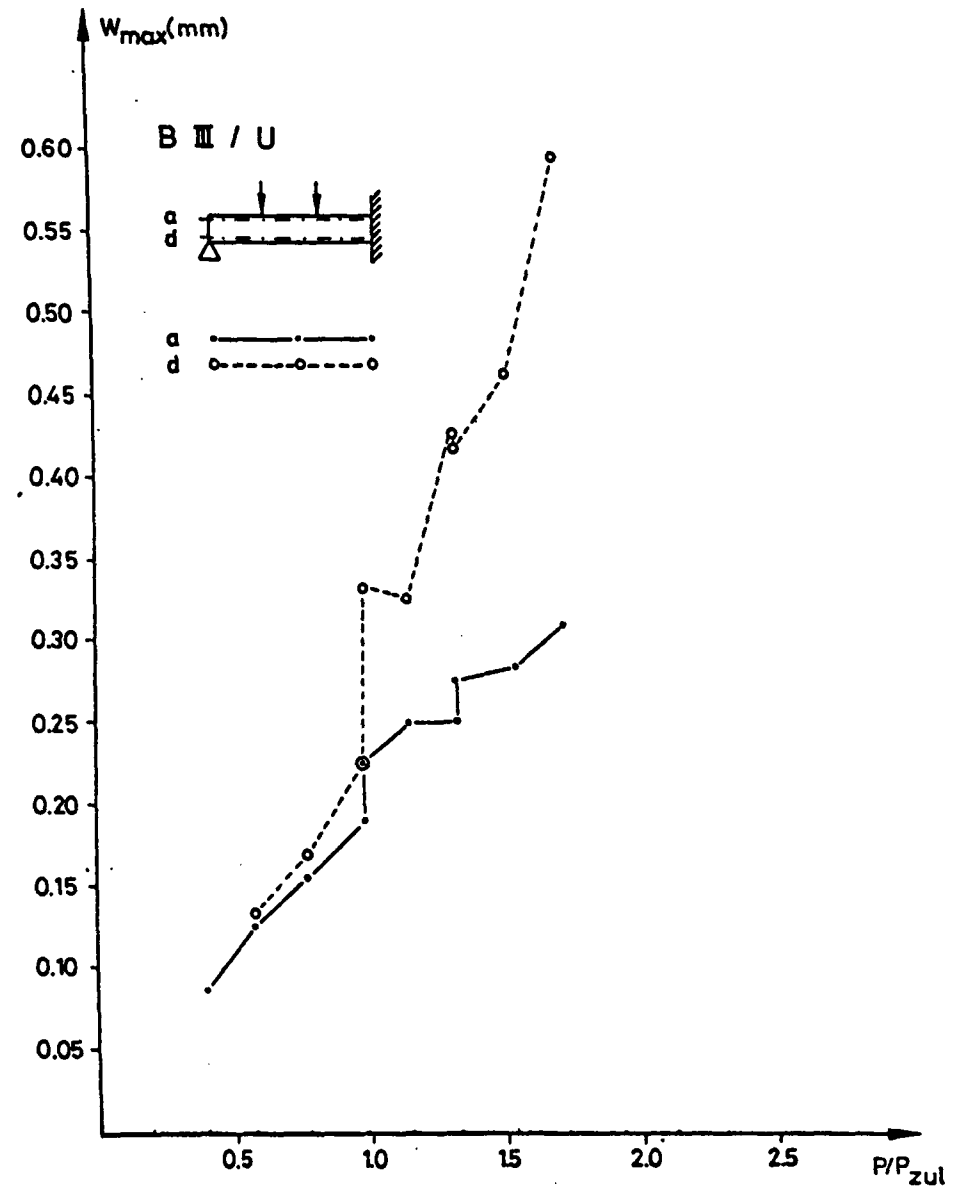
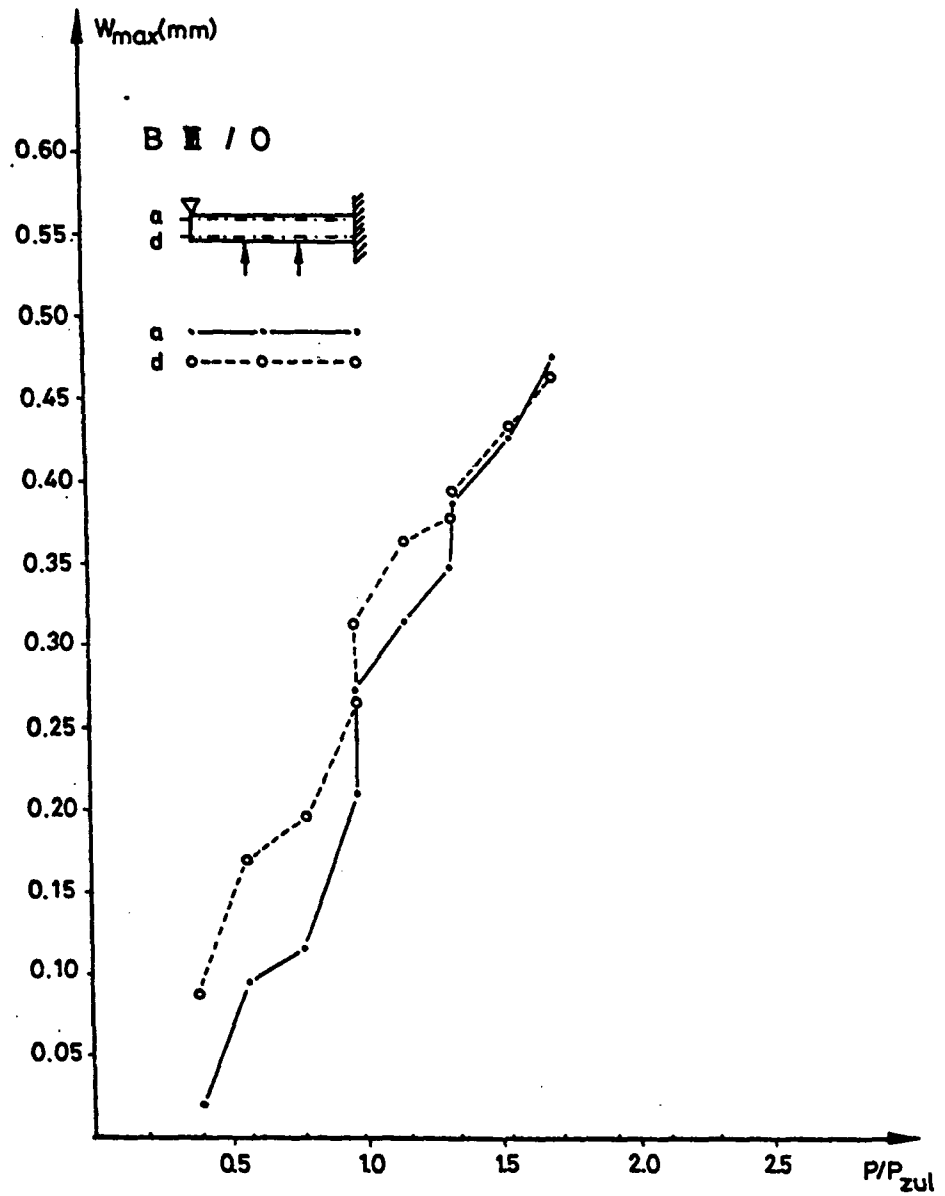


Bild 6.89: Größte Rißbreite von Versuchskörper BIII in Abhängigkeit von der Last

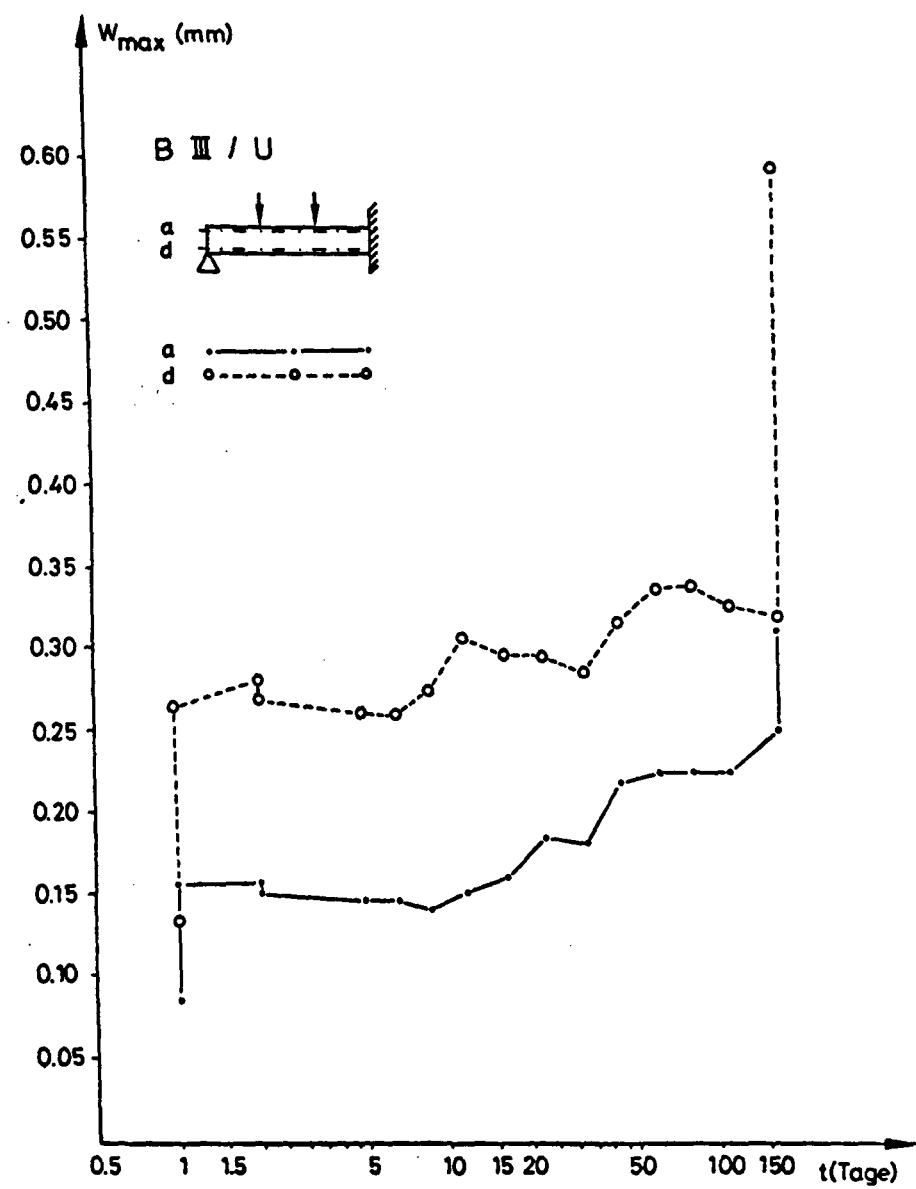
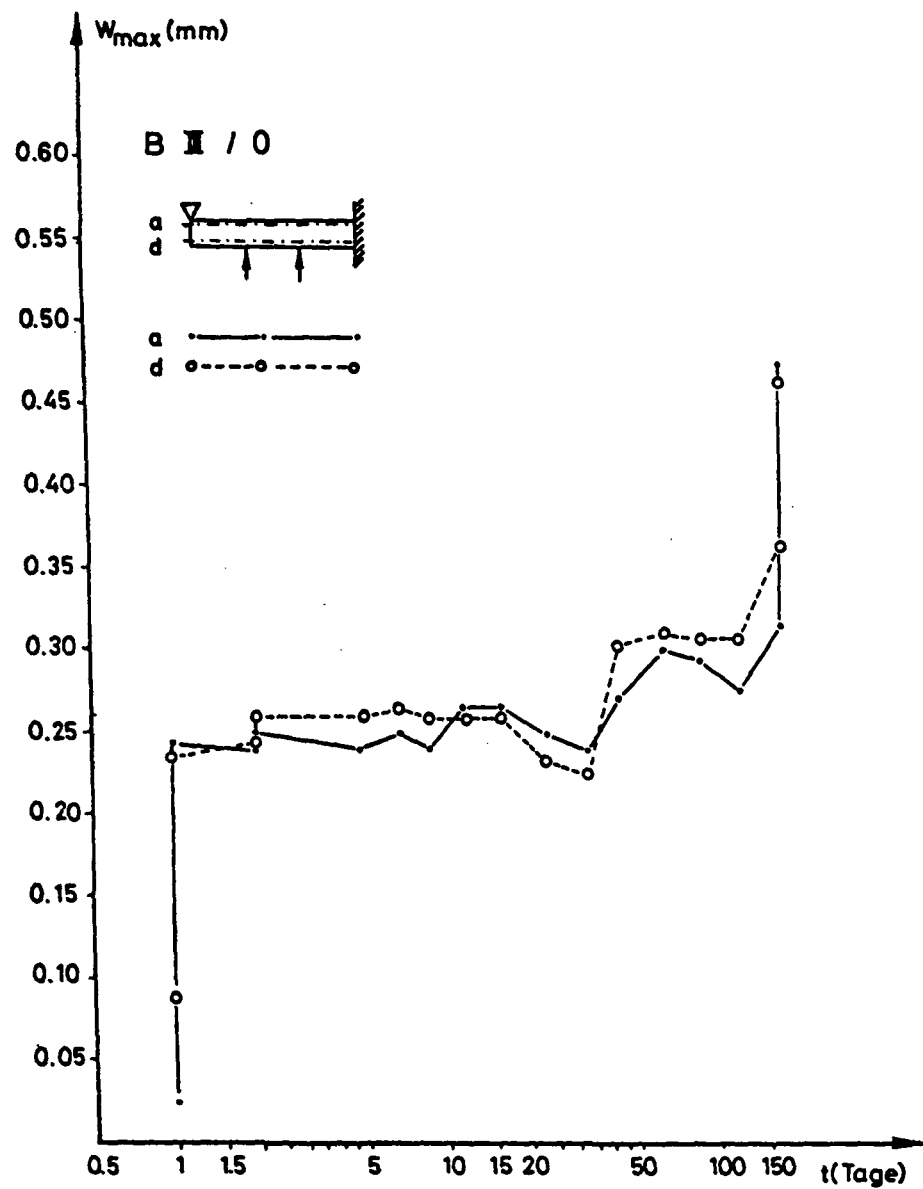


Bild 6.90: Größte Rißbreite von Versuchskörper BIII in Abhängigkeit von der Zeit

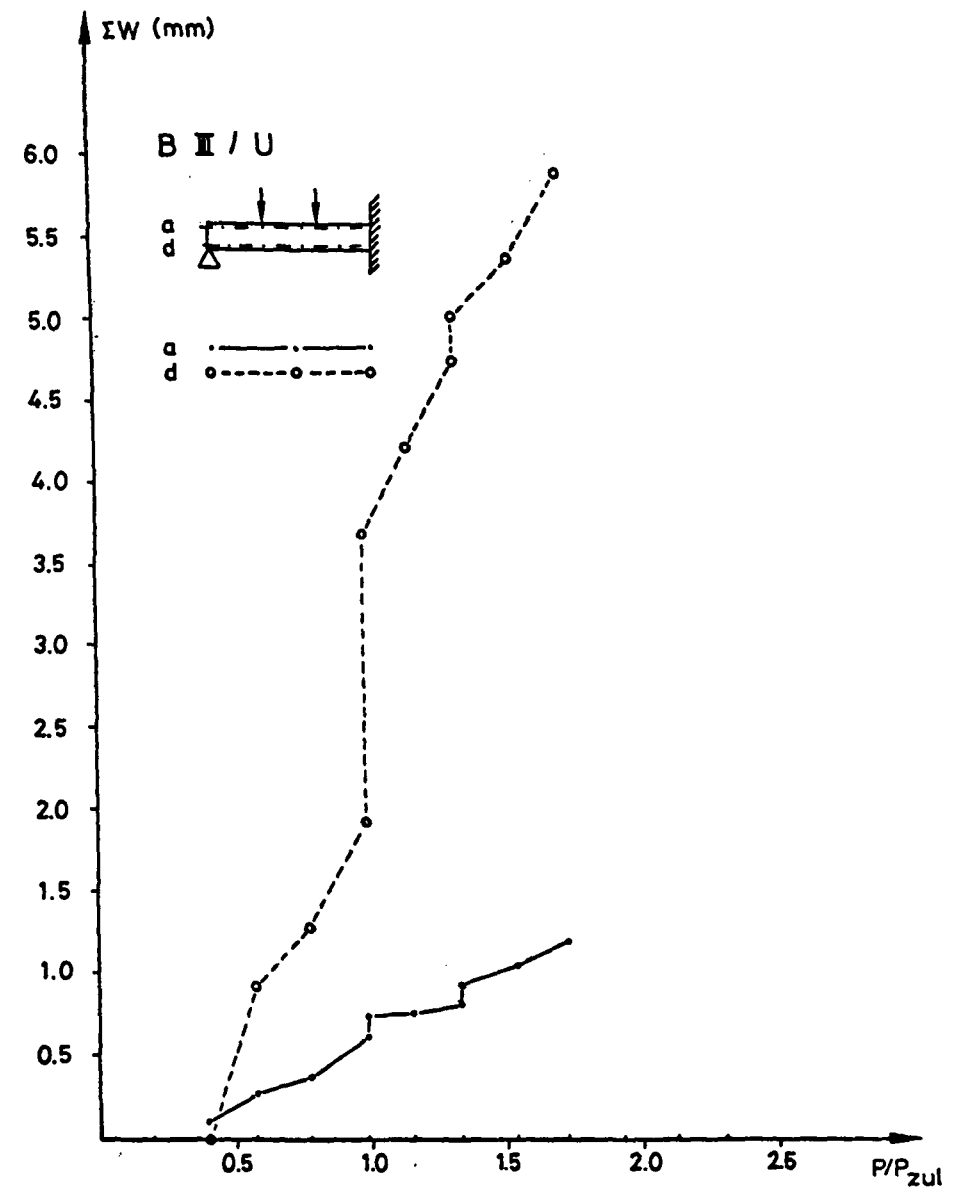
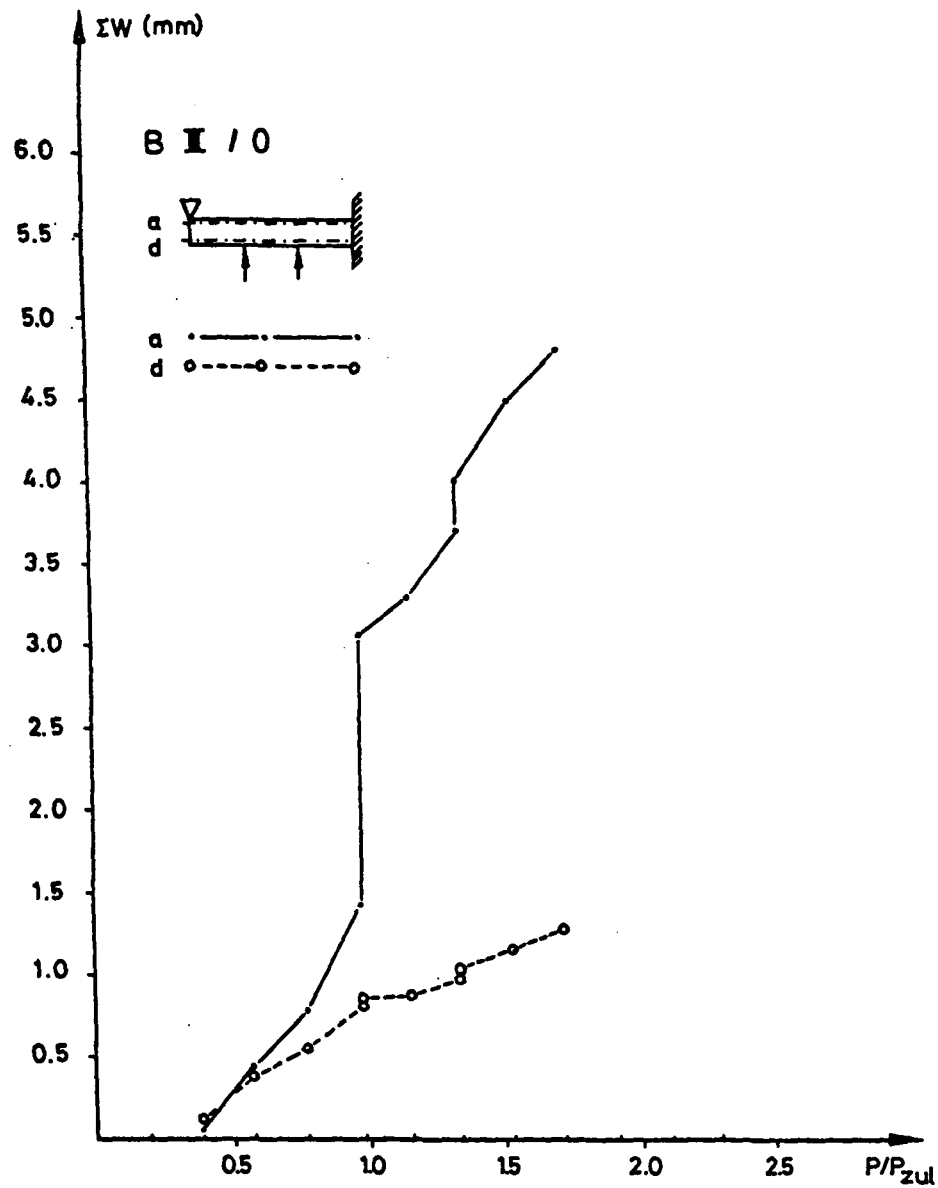


Bild 6.91: Zunahme der Rißbreiten von Versuchskörper BIII in Abhängigkeit von der Last

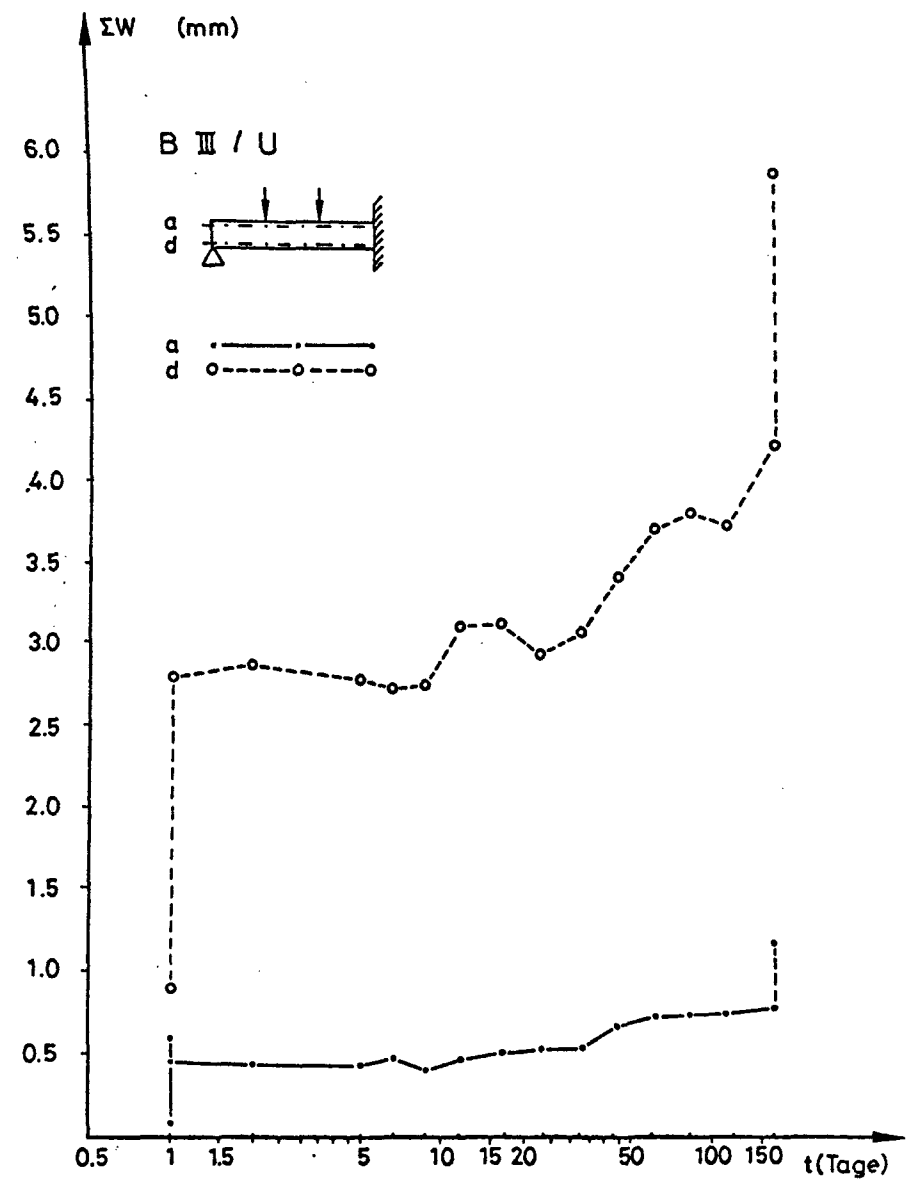
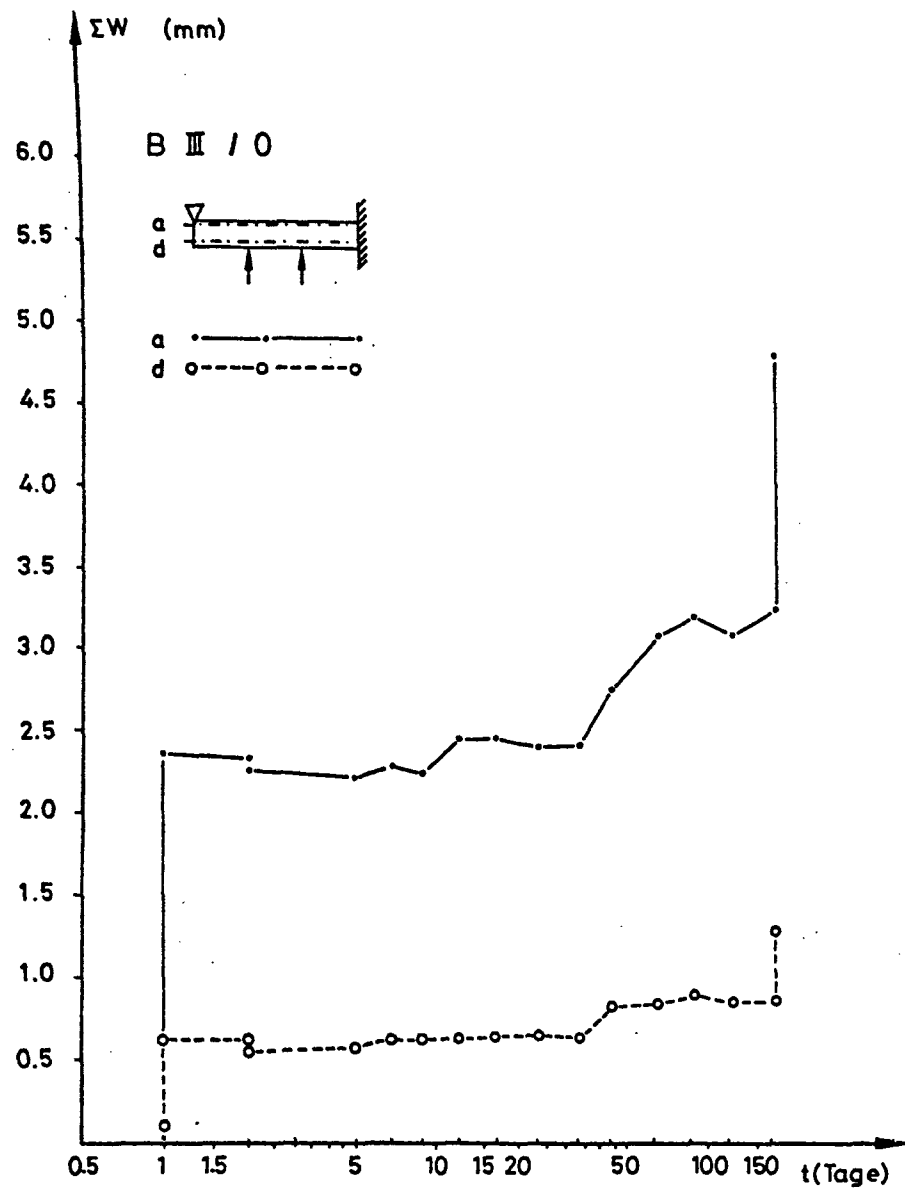


Bild 6.92: Zunahme der Rißbreite von Versuchskörper BIII in Abhängigkeit von der Zeit

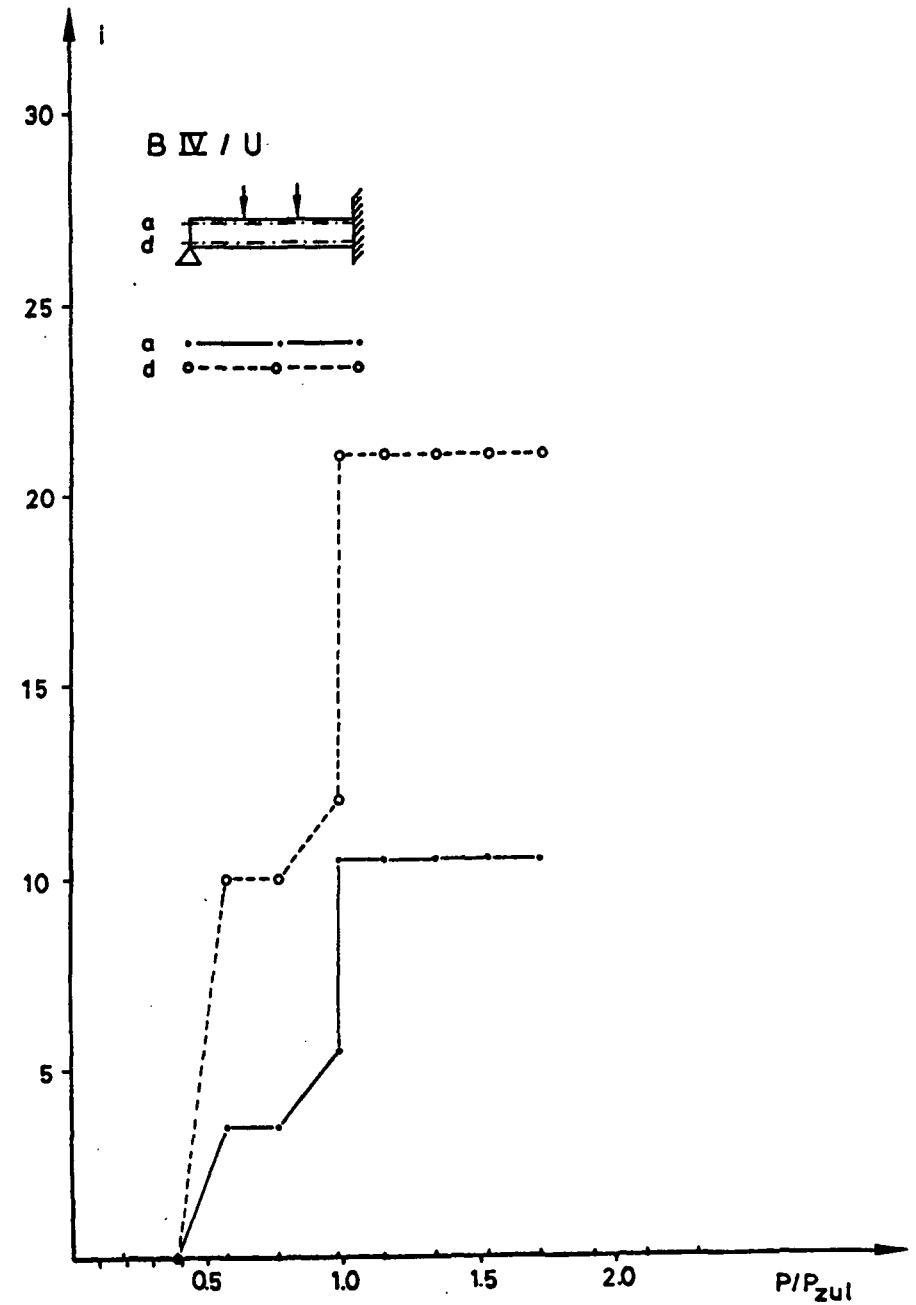
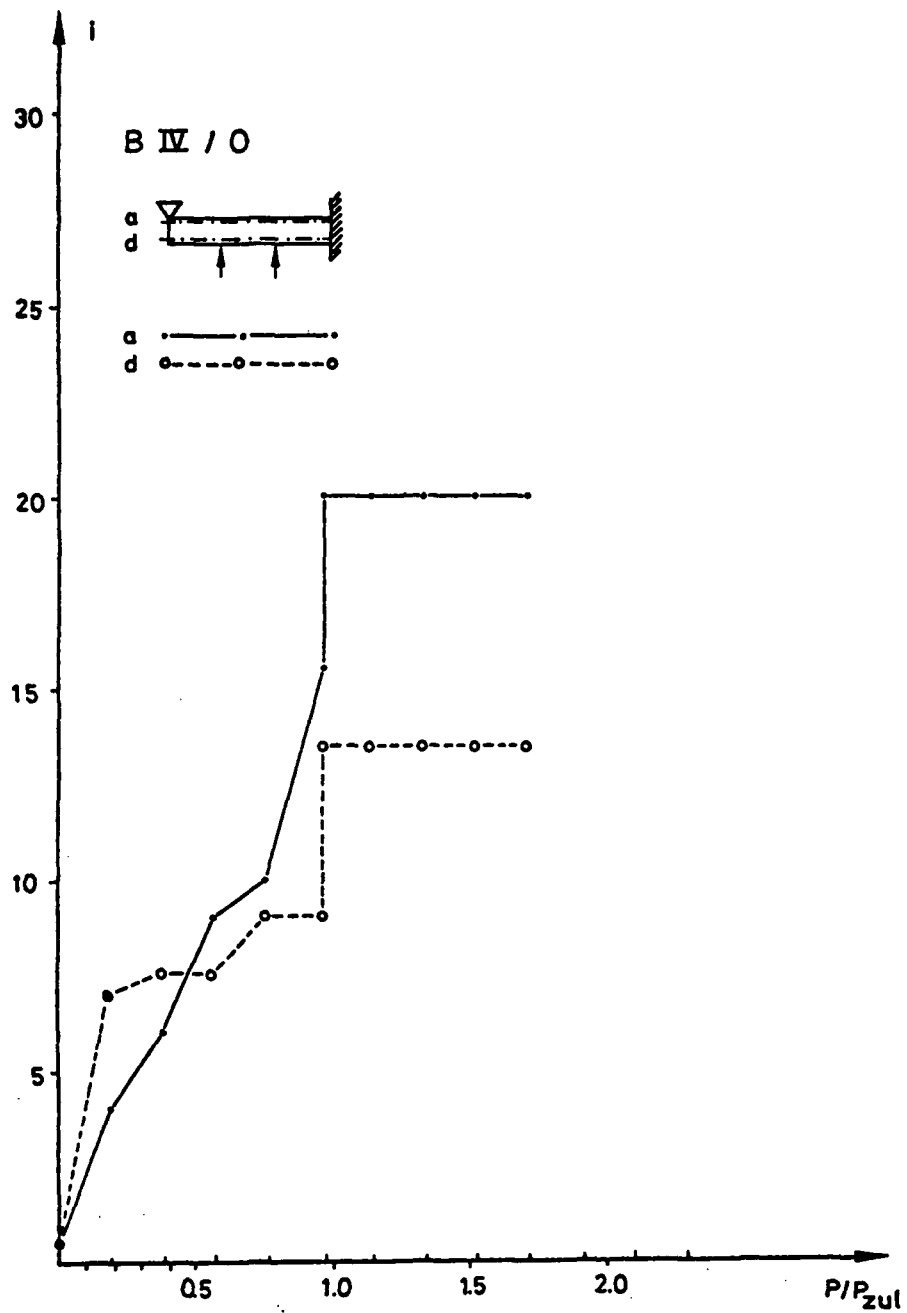


Bild 6.93: Anzahl der Risse von Versuchskörper BIV in Abhängigkeit von der Last

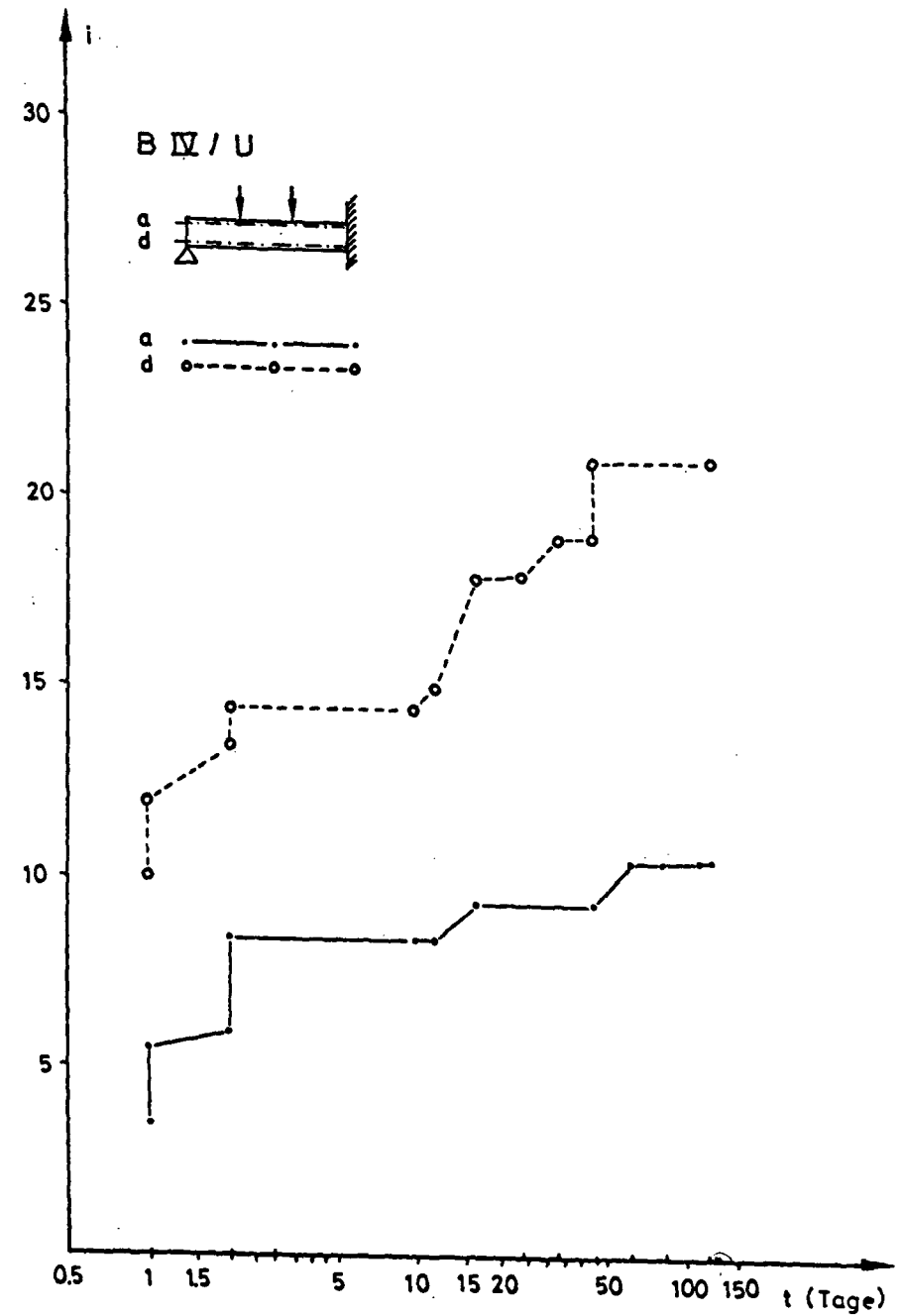
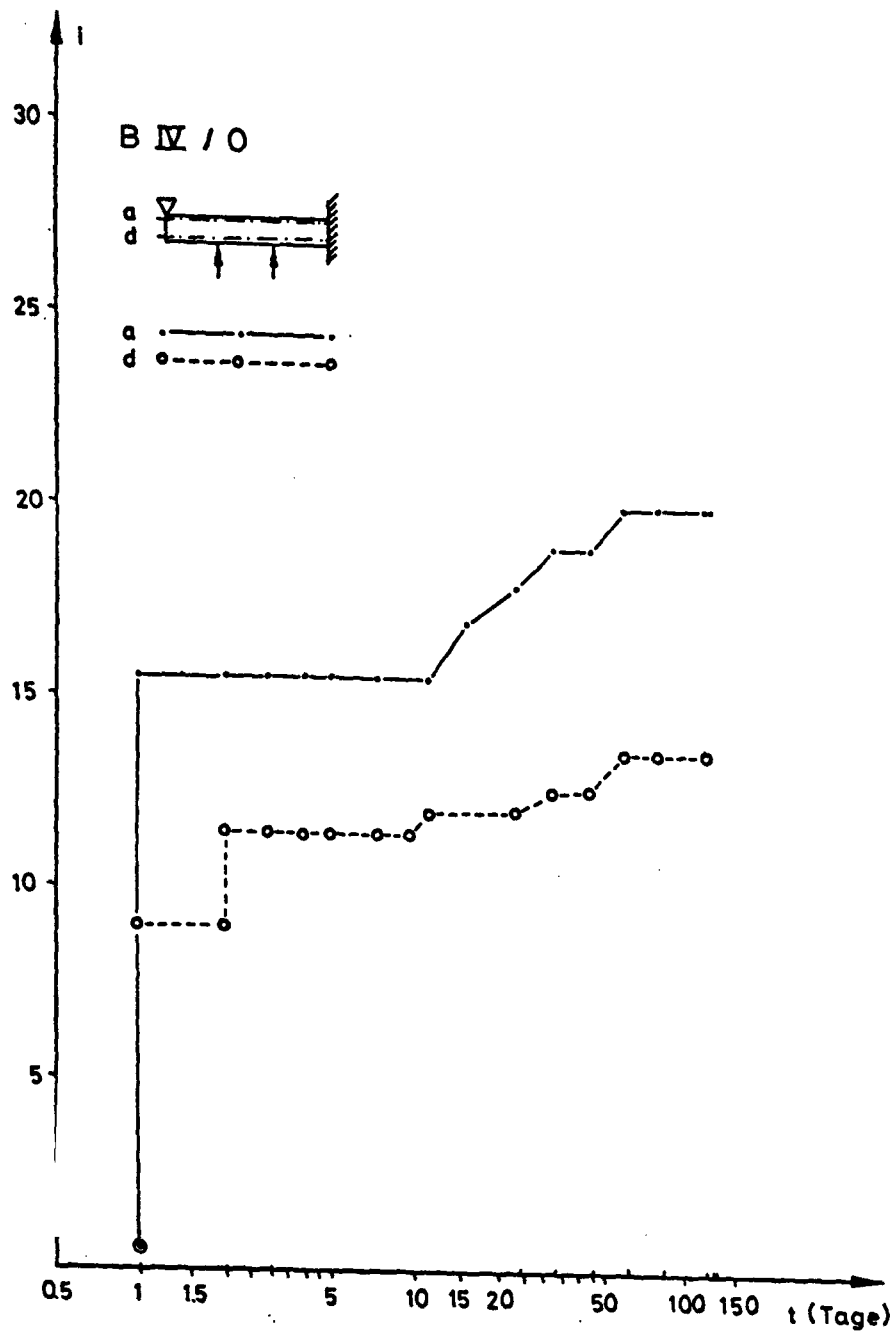


Bild 694: Anzahl der Risse von Versuchskörper BIV in Abhängigkeit von der Zeit

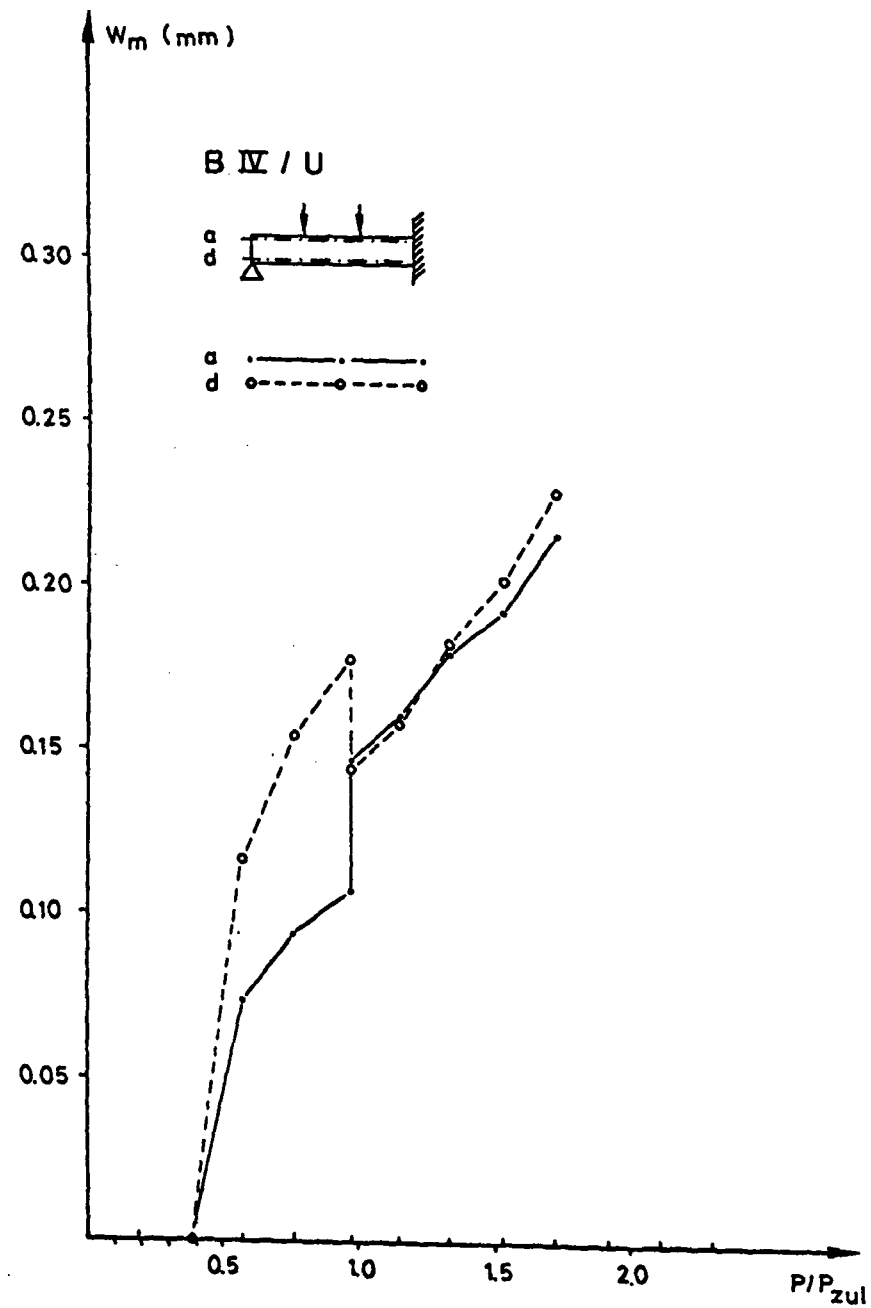
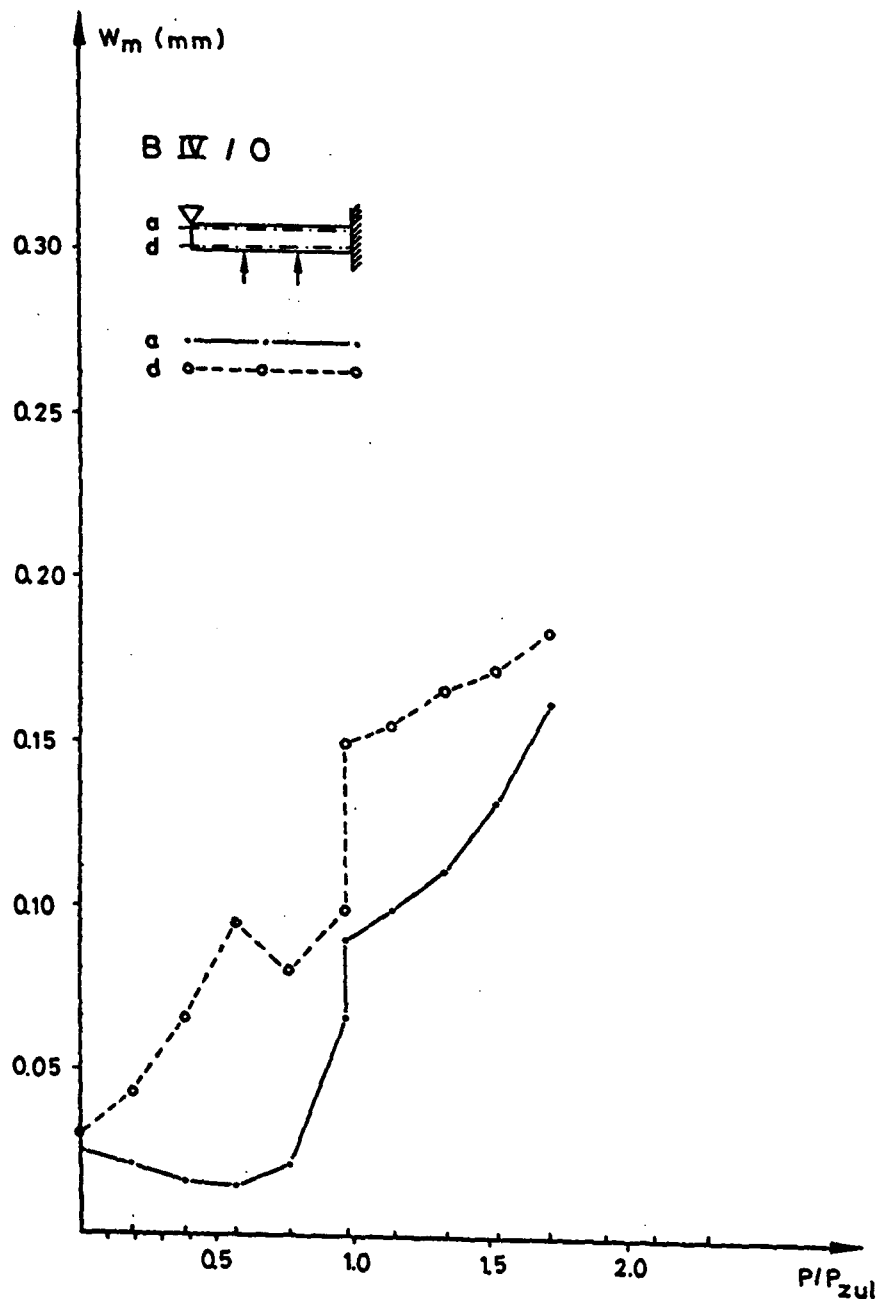


Bild 6.95: Mittlere Rißbreite von Versuchskörper BIV in Abhängigkeit von der Last

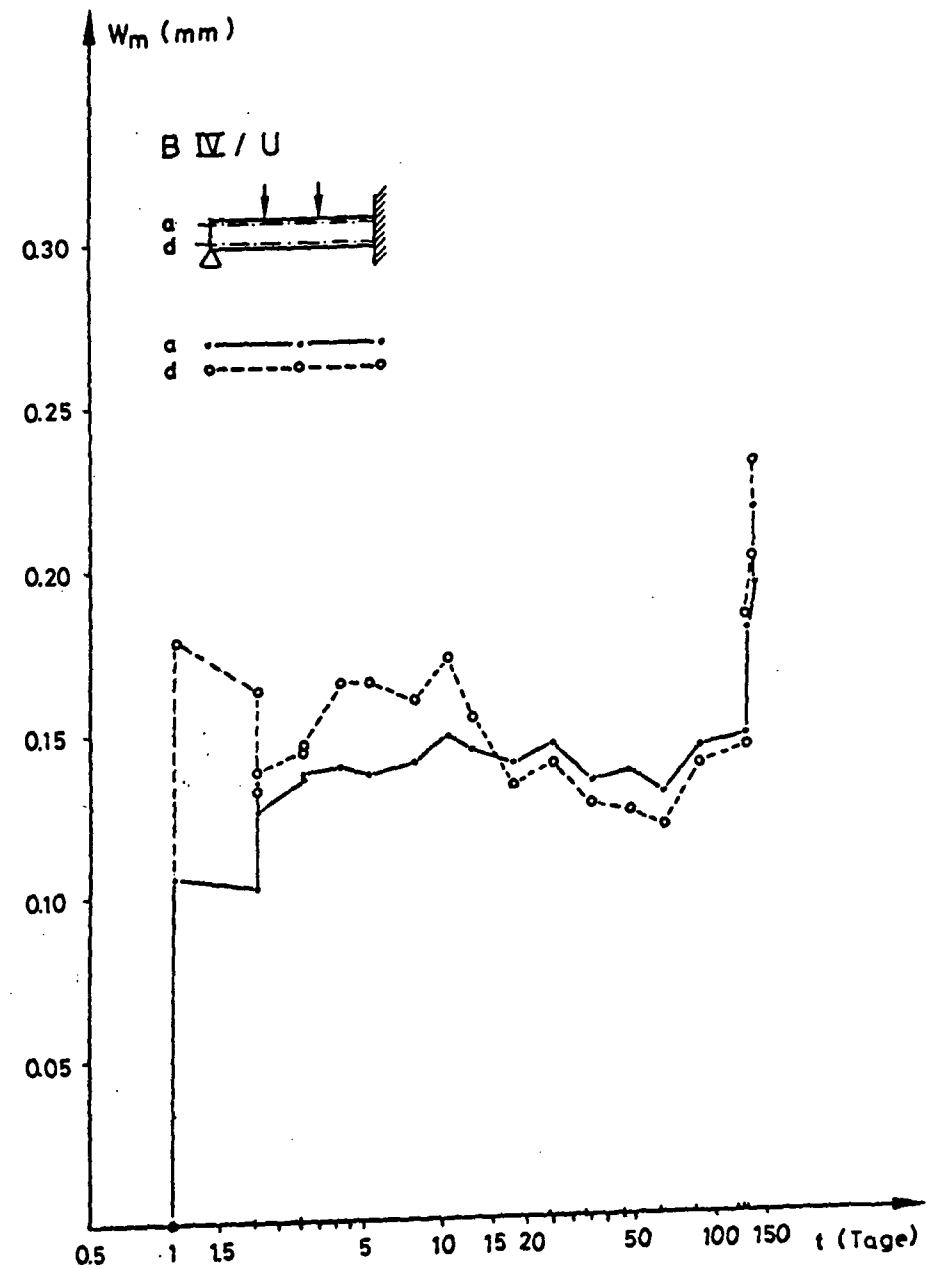
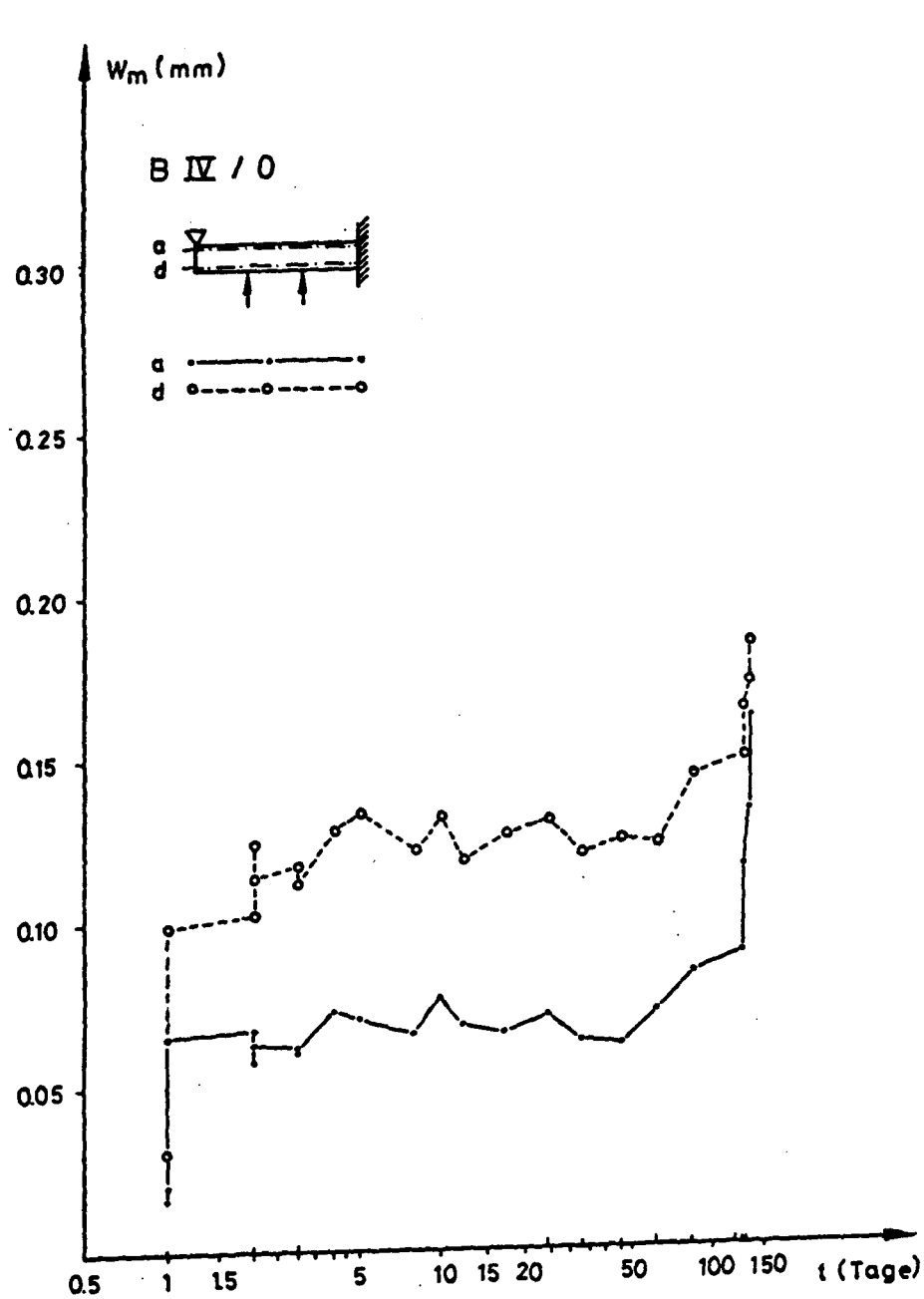


Bild 6.96: Mittlere Rißbreite von Versuchskörper BIV in Abhängigkeit von der Zeit

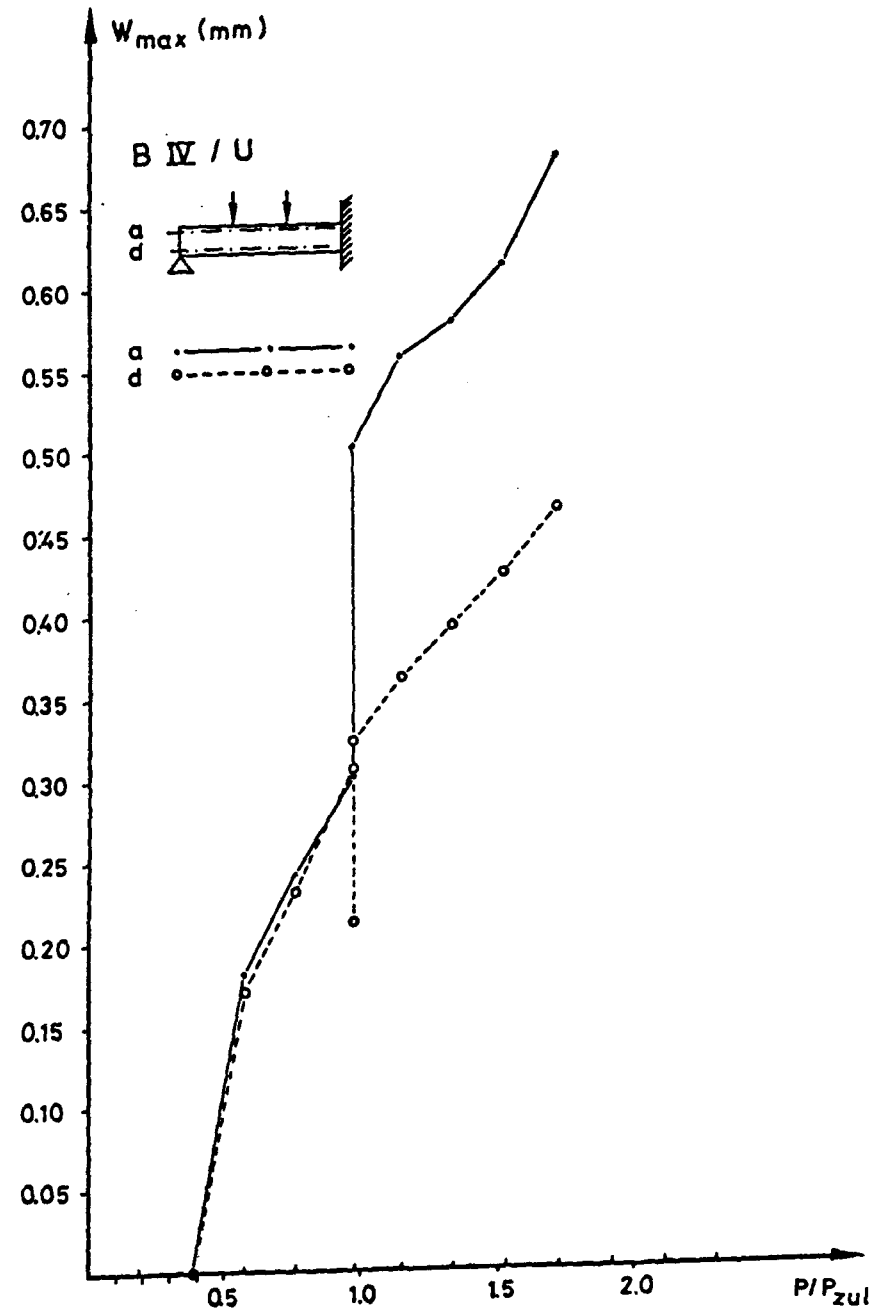
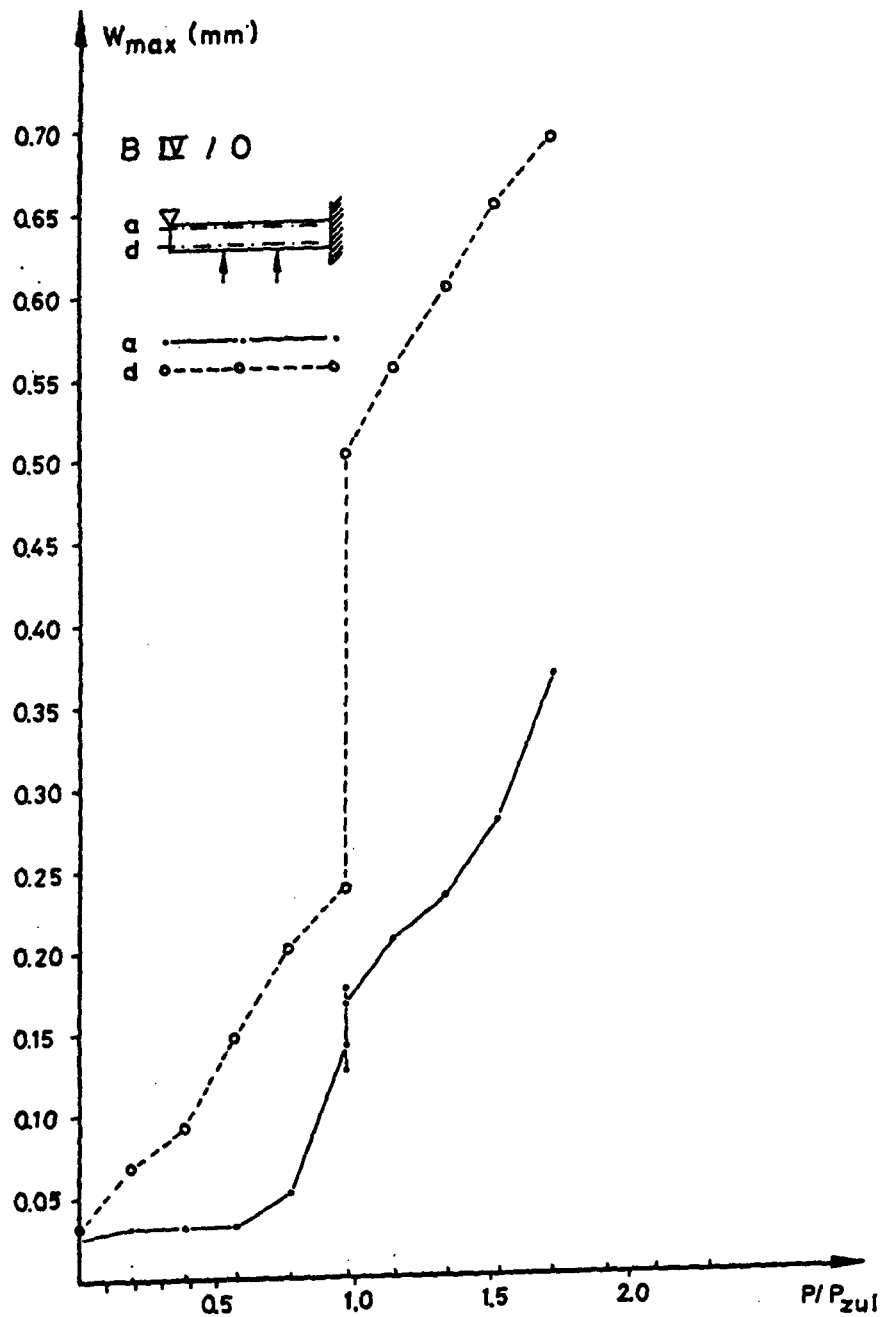


Bild 6.97: Größte Rißbreite von Versuchskörper BIV in Abhängigkeit von der Last

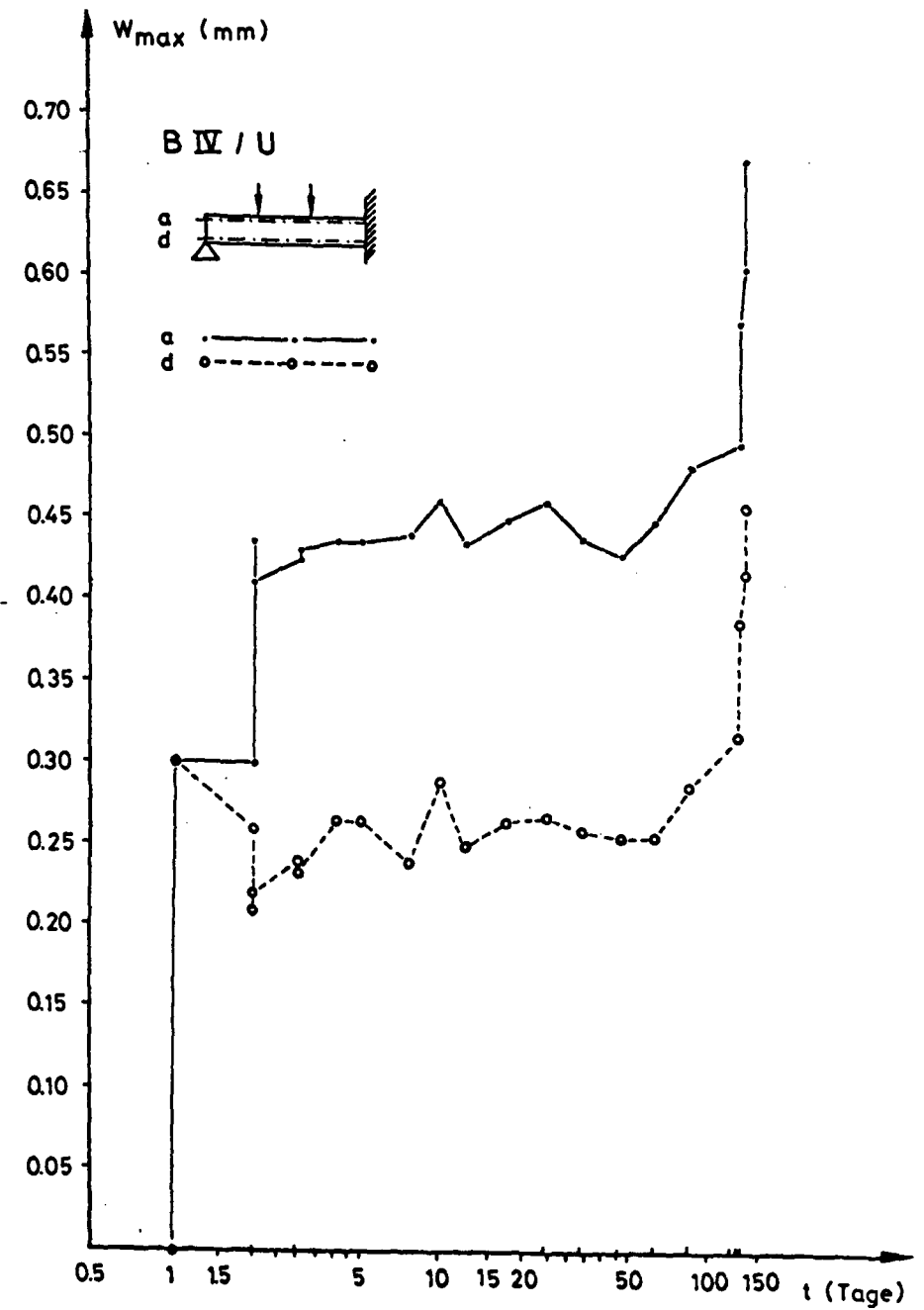
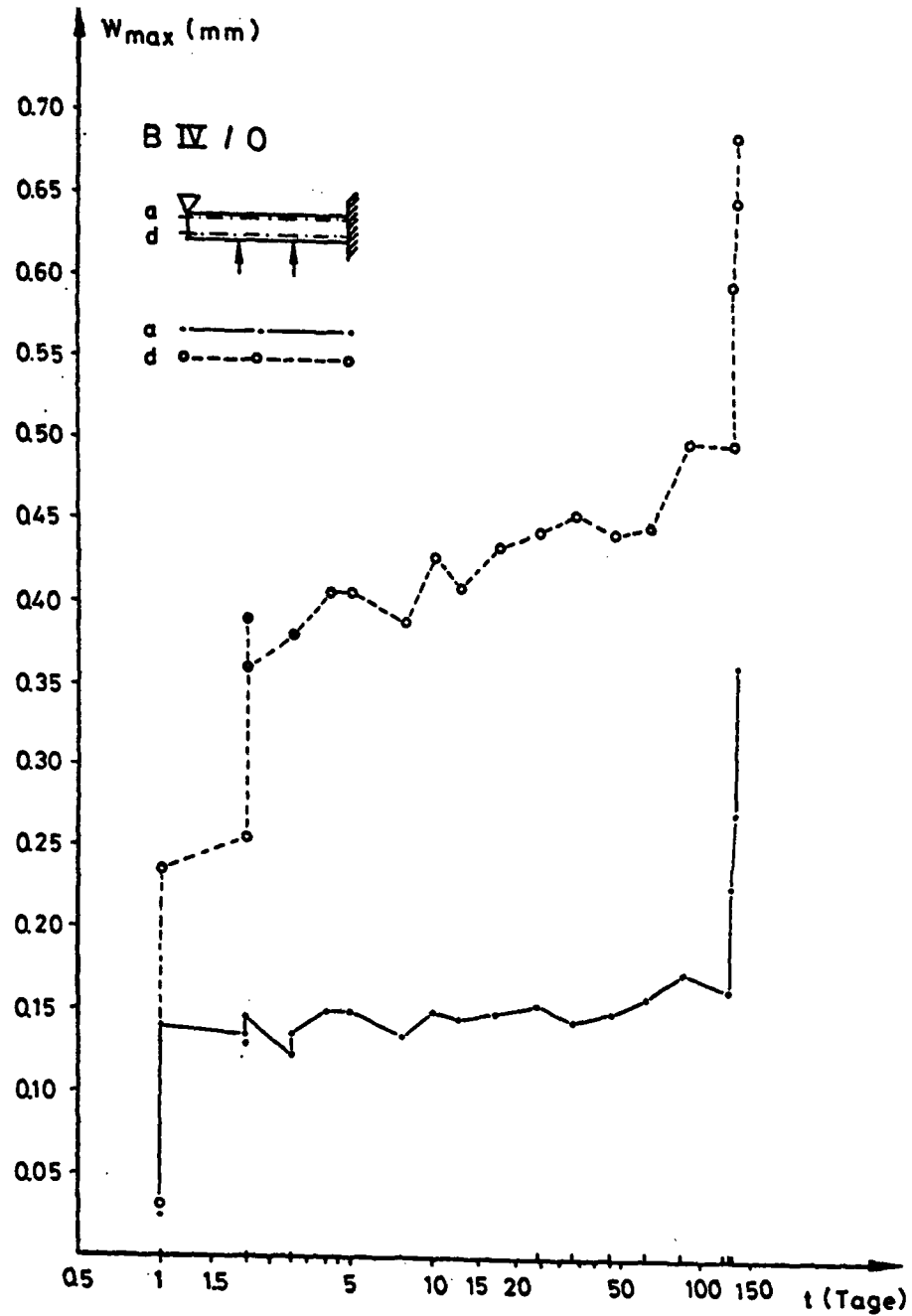


Bild 6.98: Größte Rißbreite von Versuchskörper BIV in Abhängigkeit von der Zeit

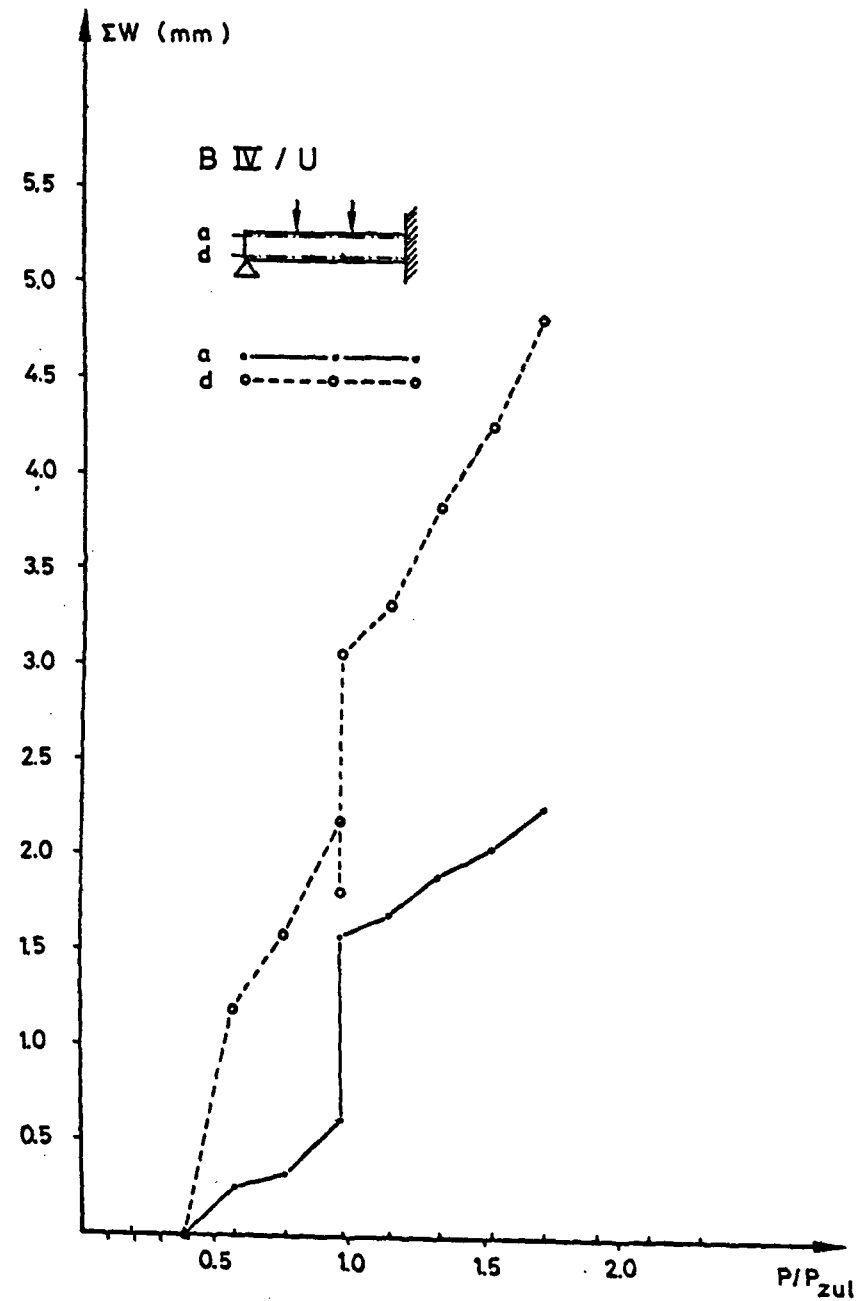
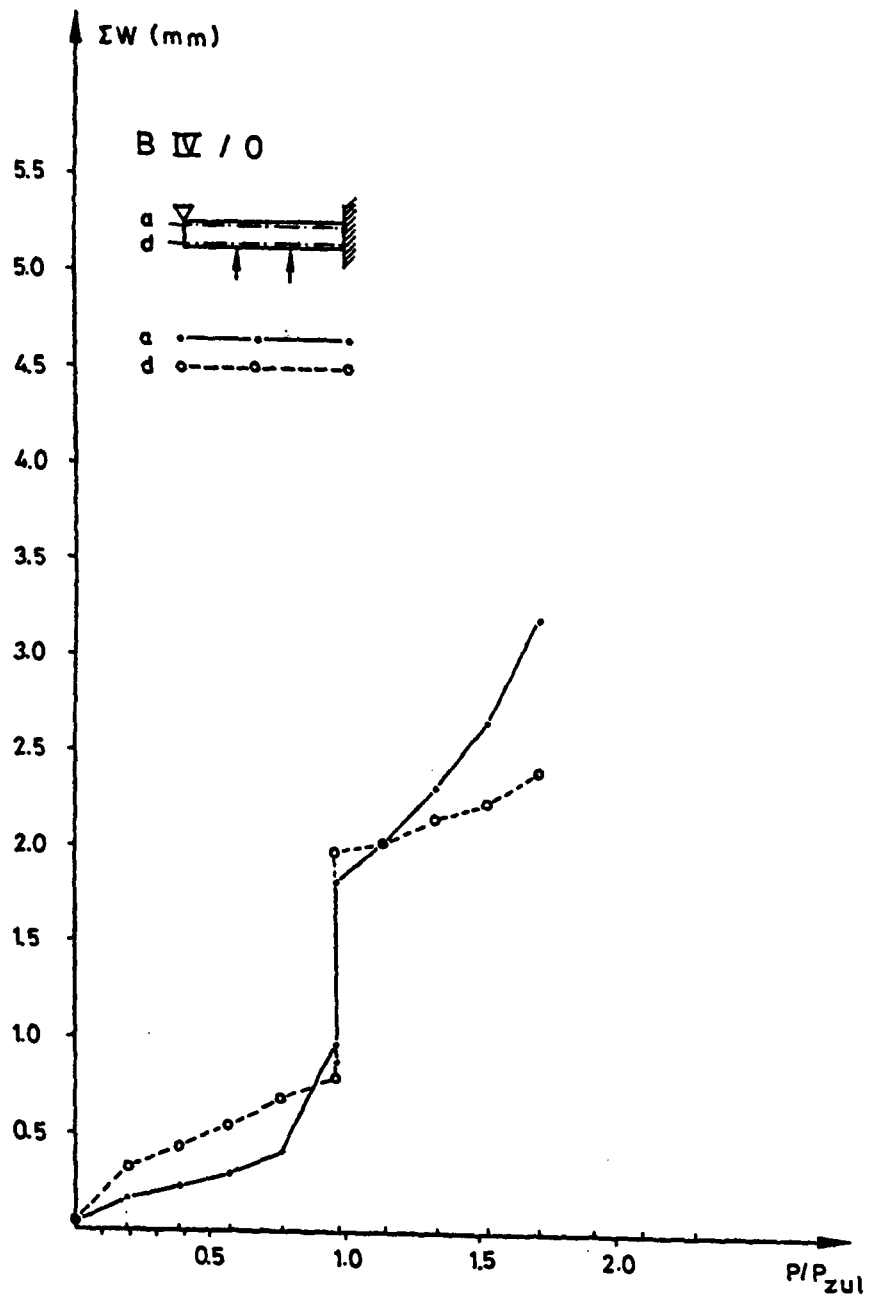


Bild 6.99: Zunahme der Rißbreiten von Versuchskörper BIV in Abhängigkeit von der Last

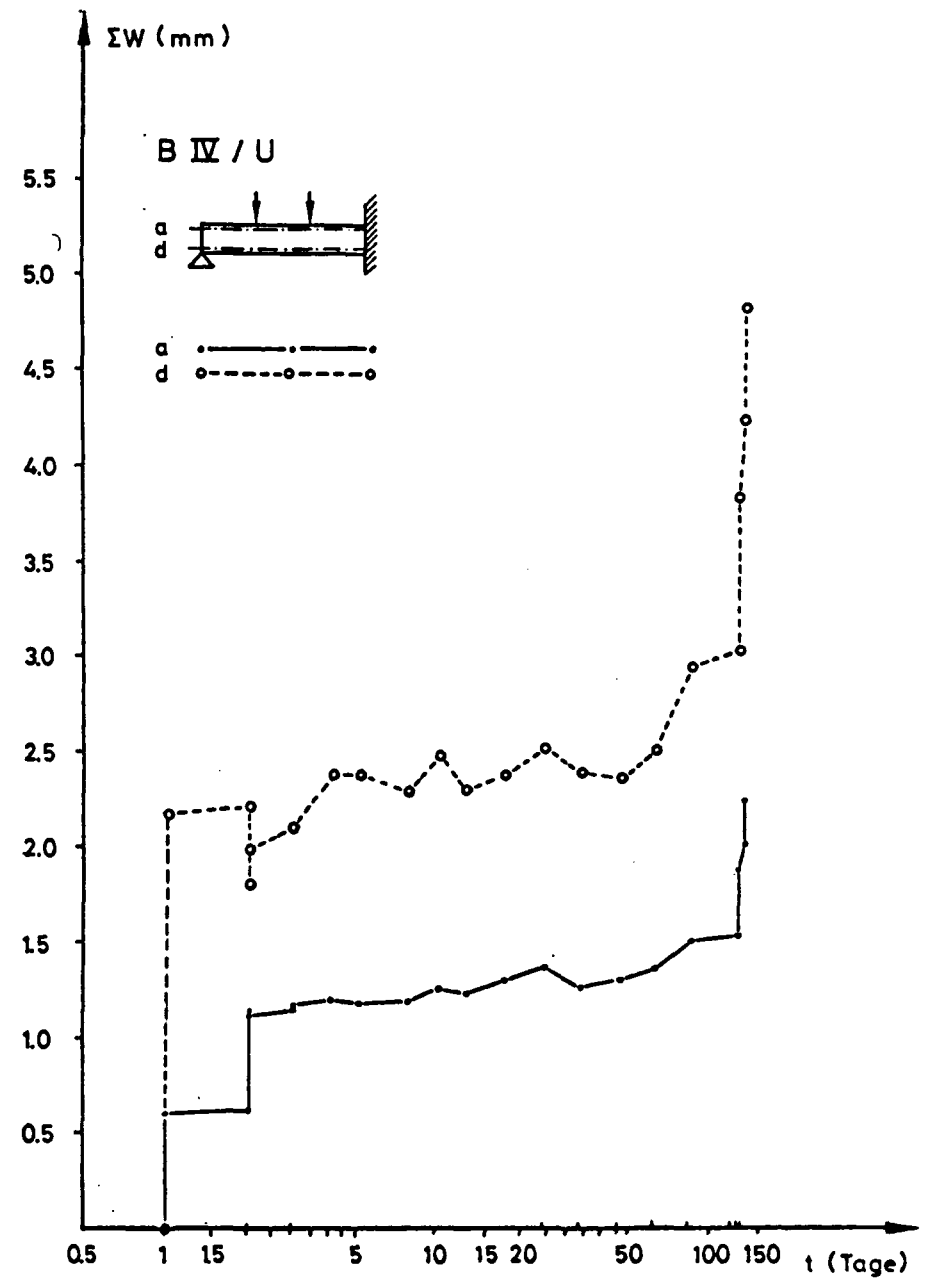
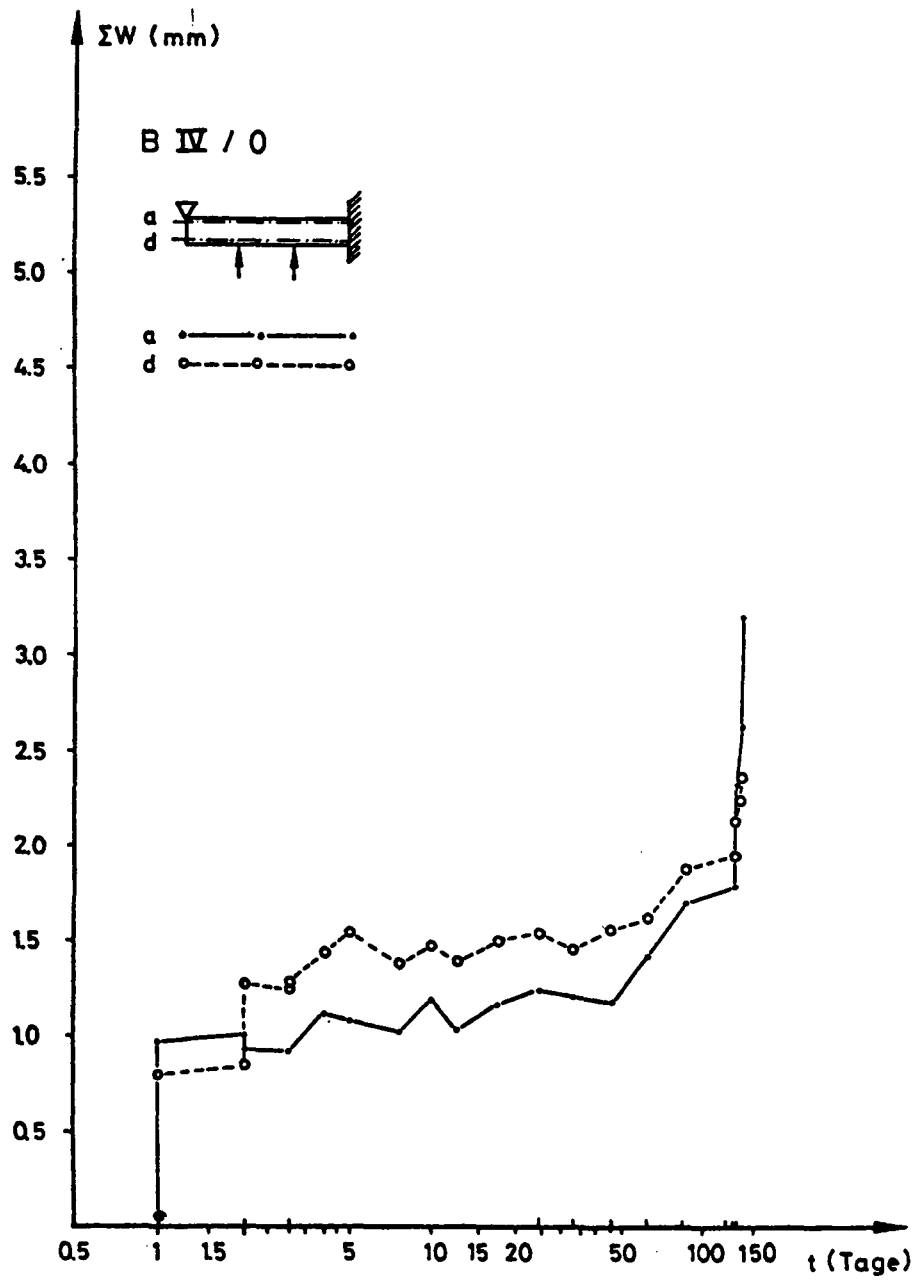


Bild 6.100: Zunahme der Rißbreiten von Versuchskörper BIV in Abhängigkeit von der Zeit

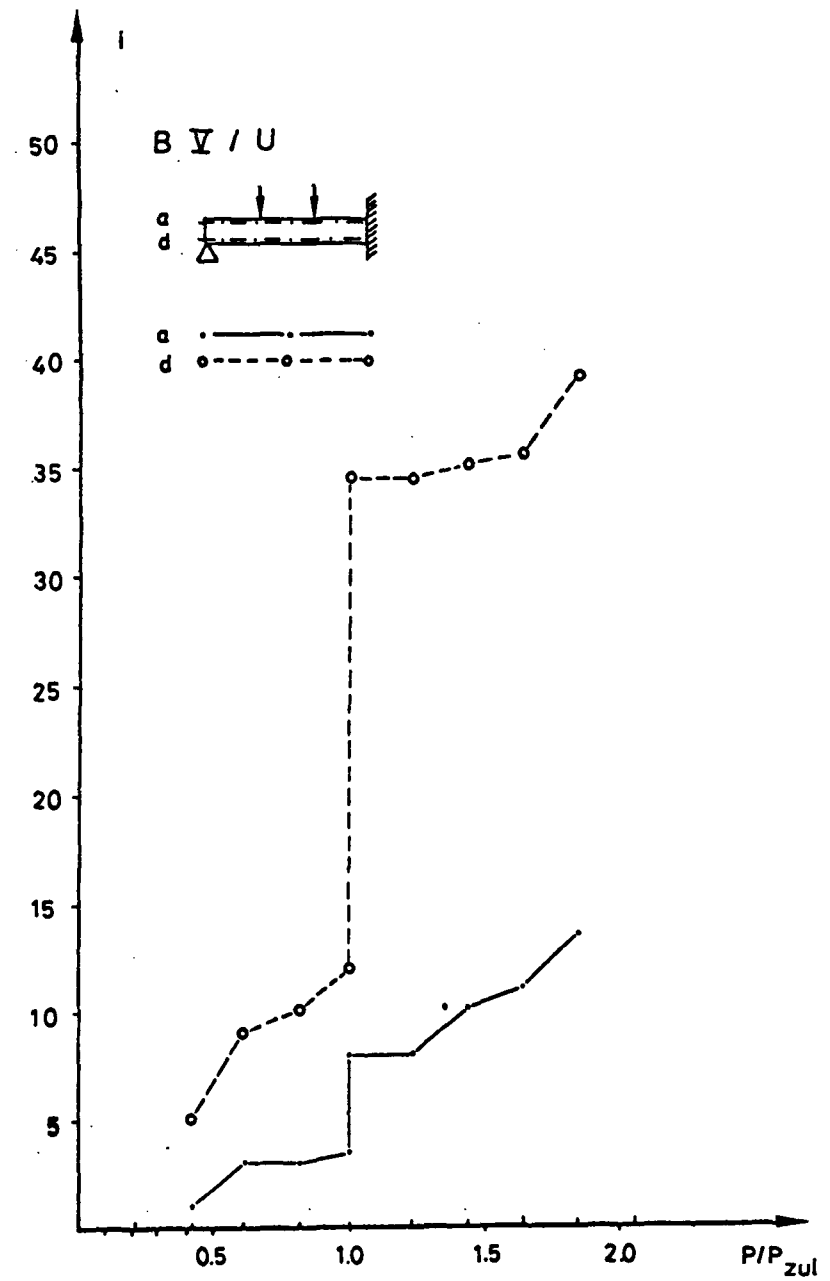
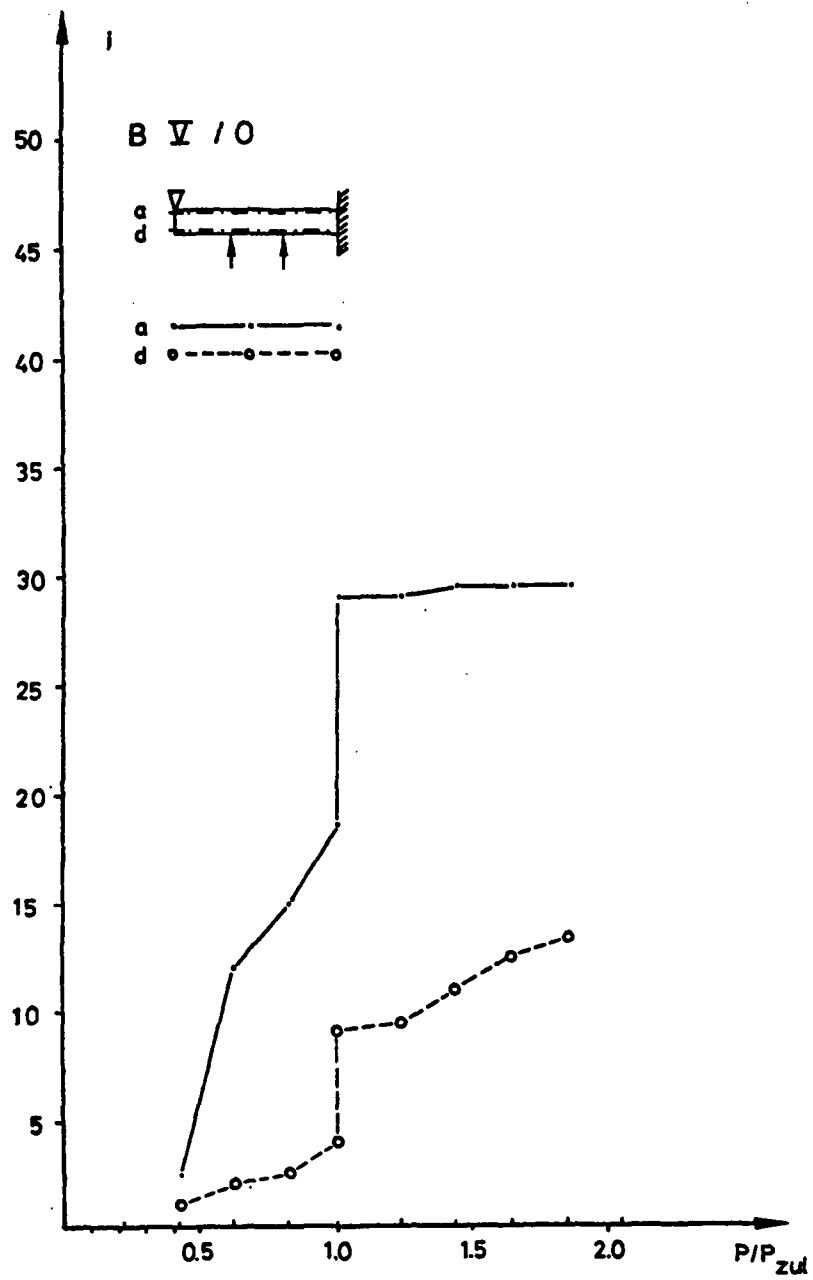


Bild 6.101: Anzahl der Risse von Versuchskörper BV in Abhängigkeit von der Last

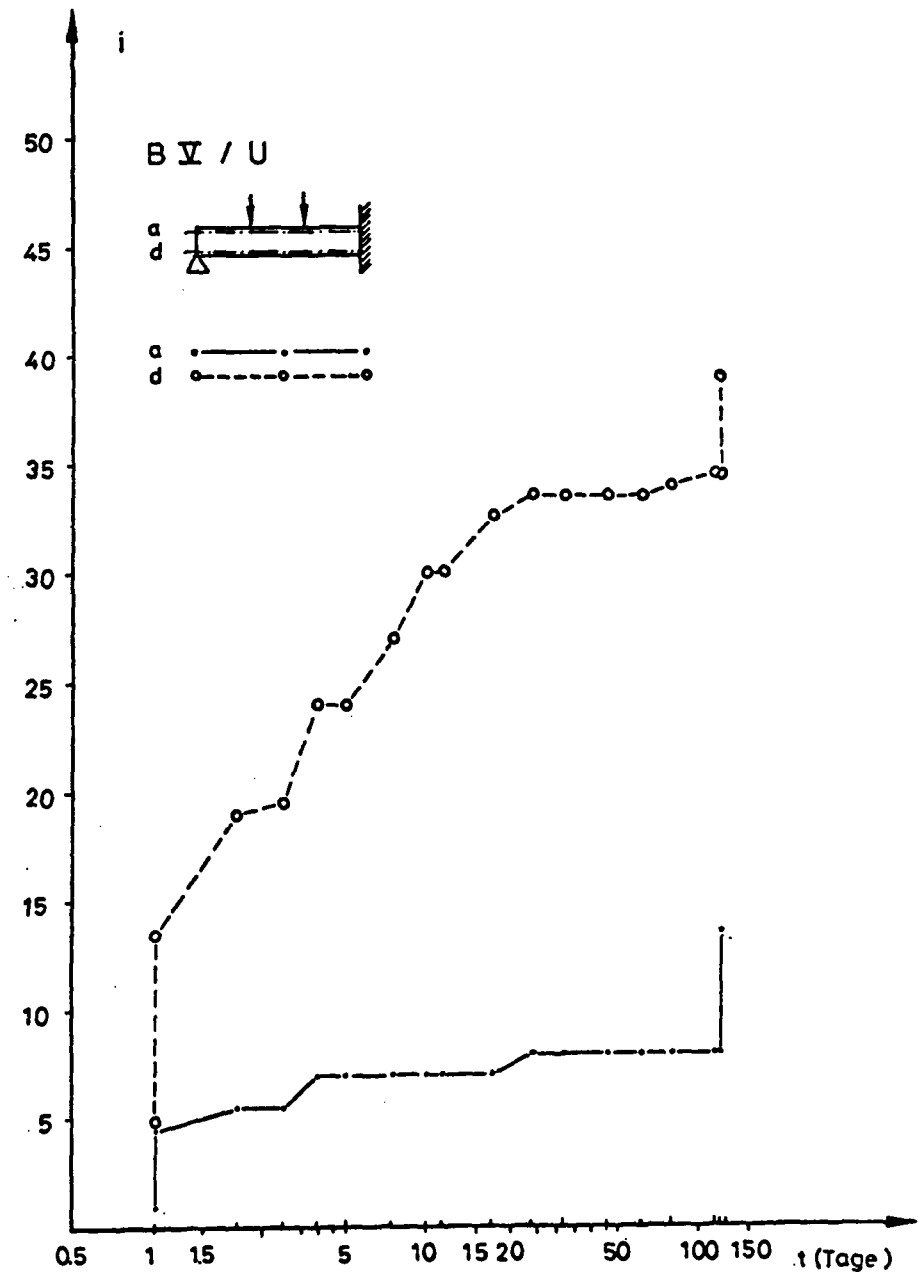
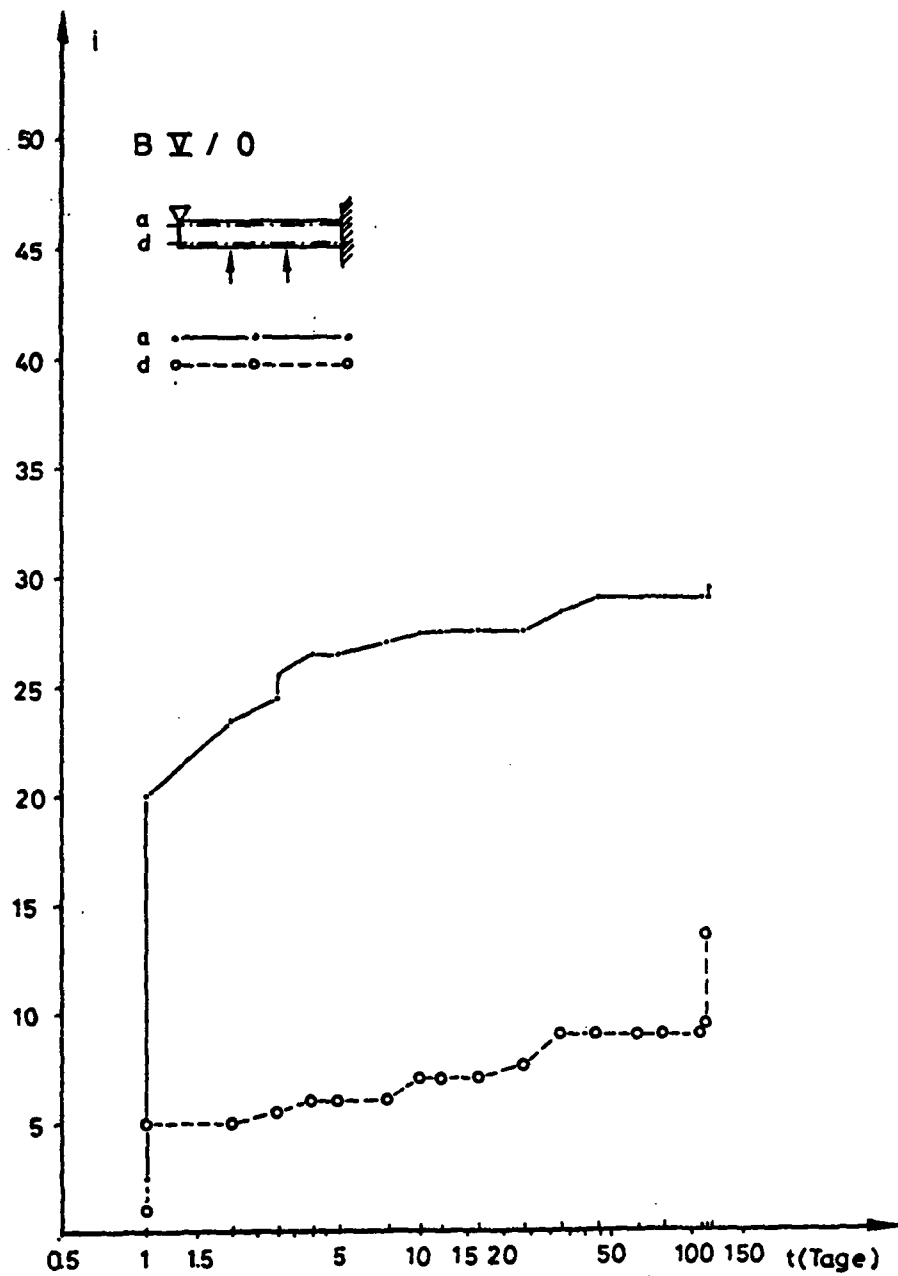


Bild 6.102: Anzahl der Risse von Versuchskörper BV in Abhängigkeit von der Zeit

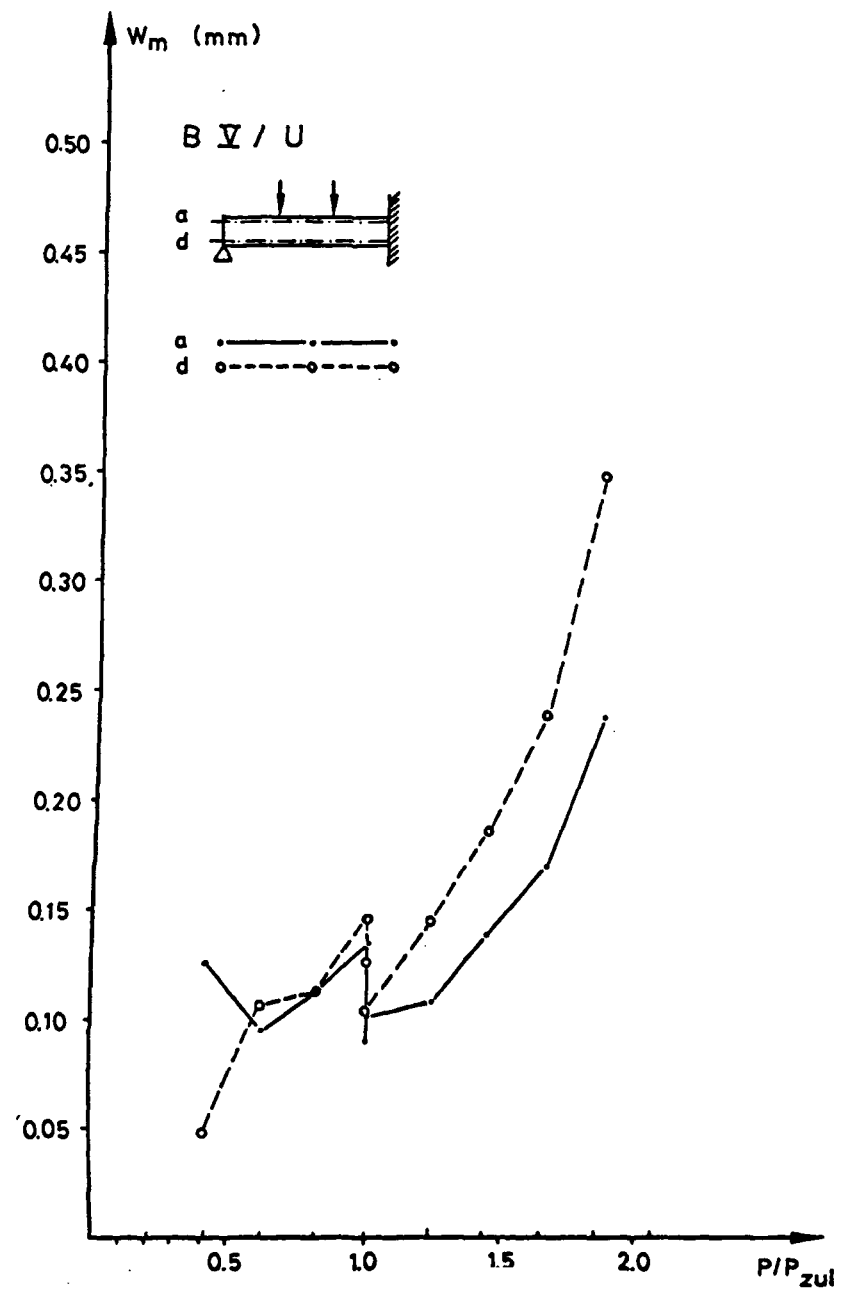
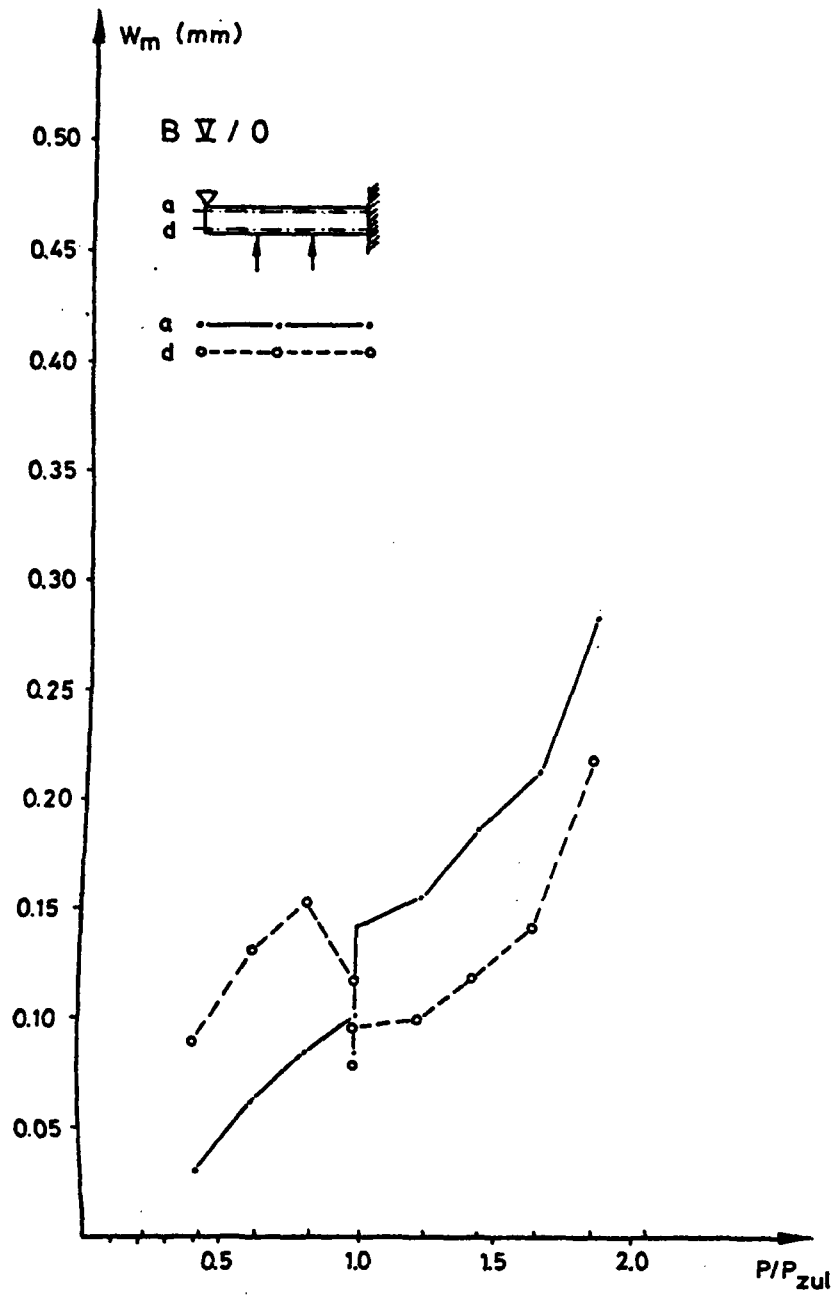


Bild 6.103: Mittlere Rißbreite von Versuchskörper BV in Abhängigkeit von der Last

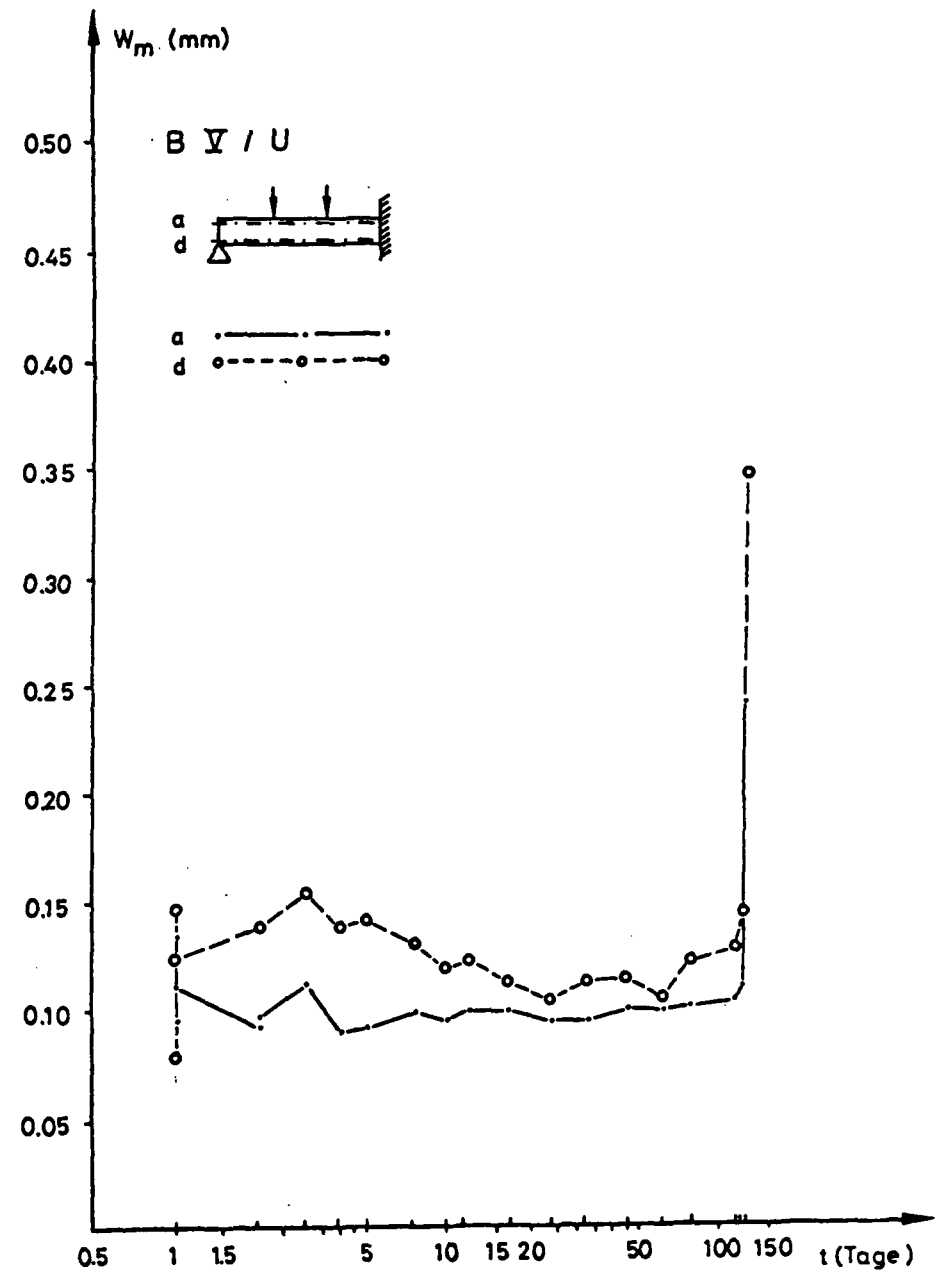
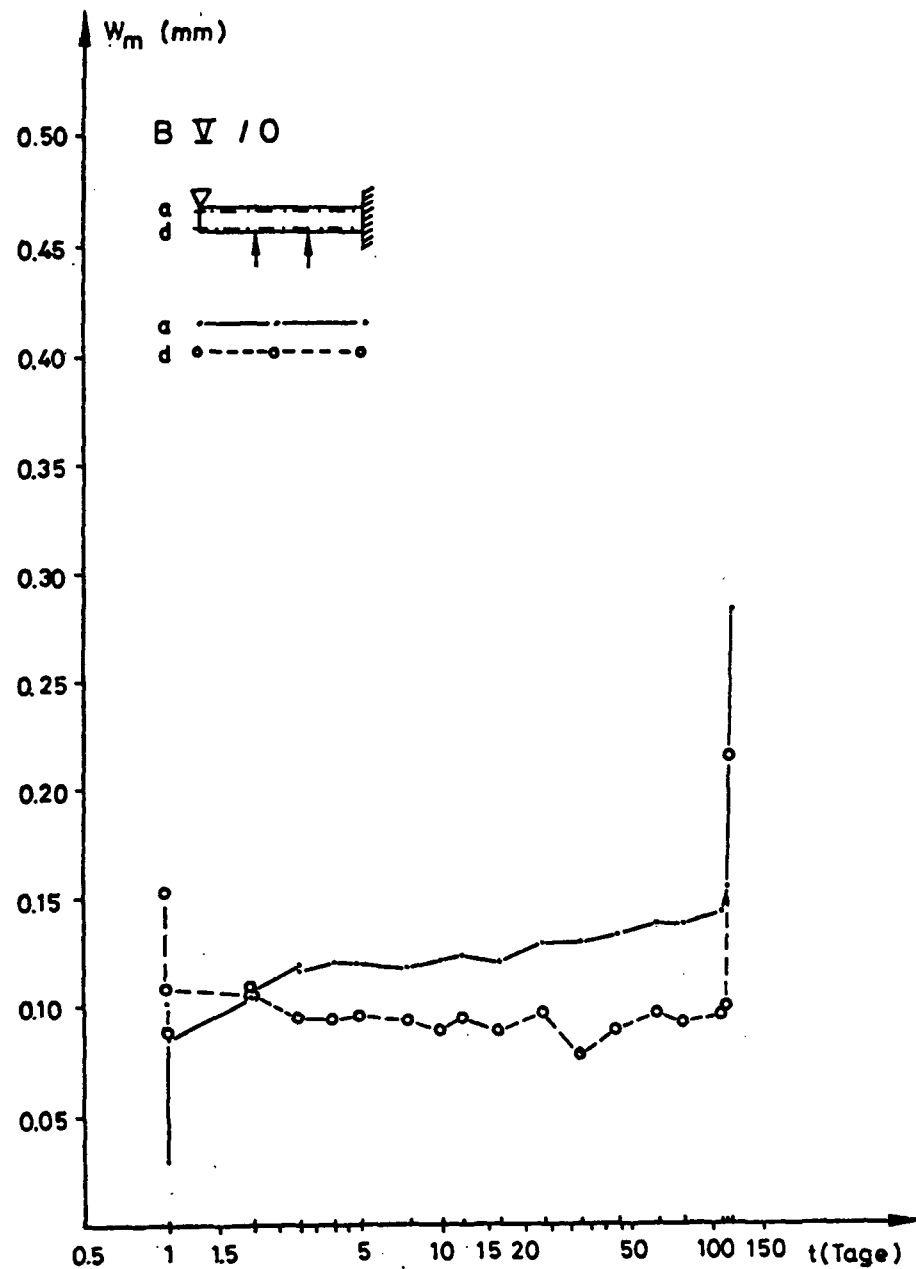


Bild 6.104: Mittlere Rißbreite von Versuchskörper BV in Abhängigkeit von der Zeit

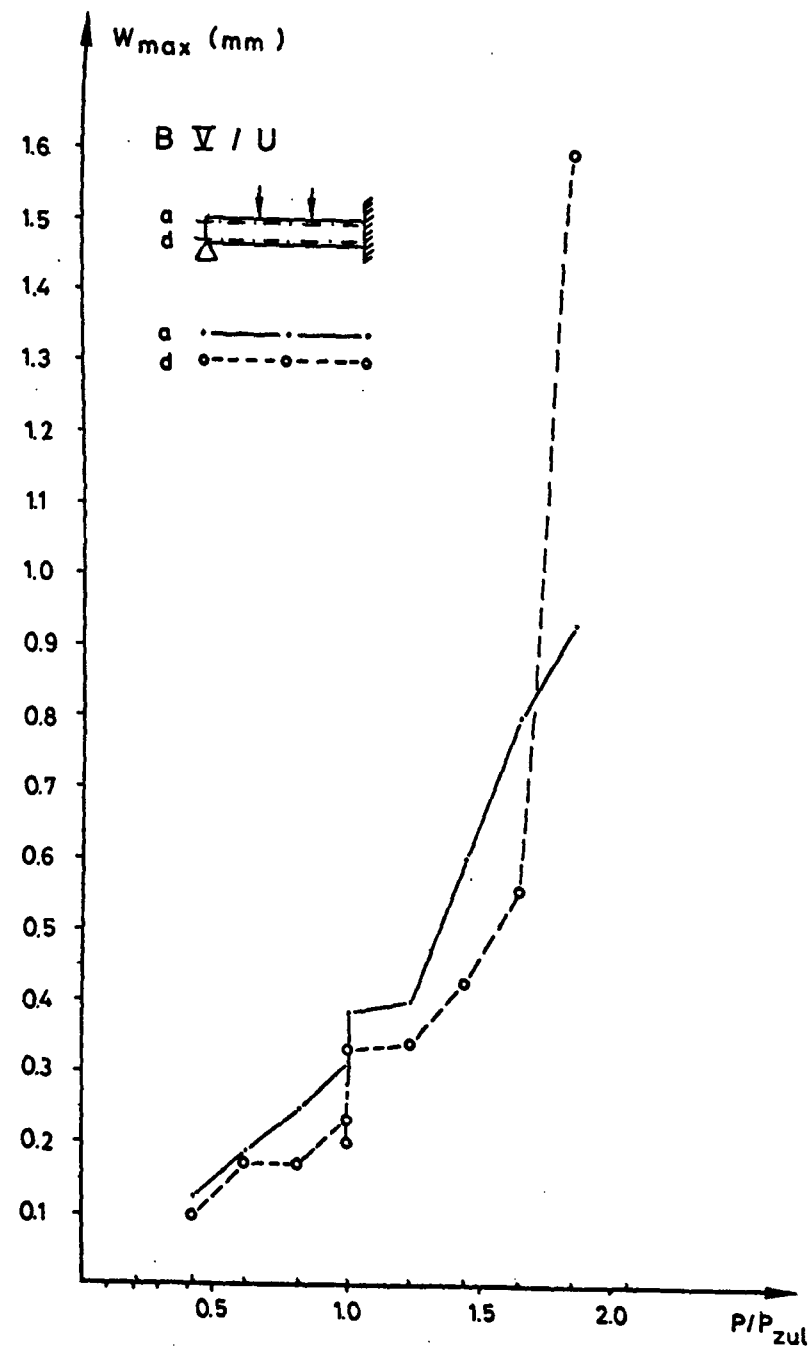
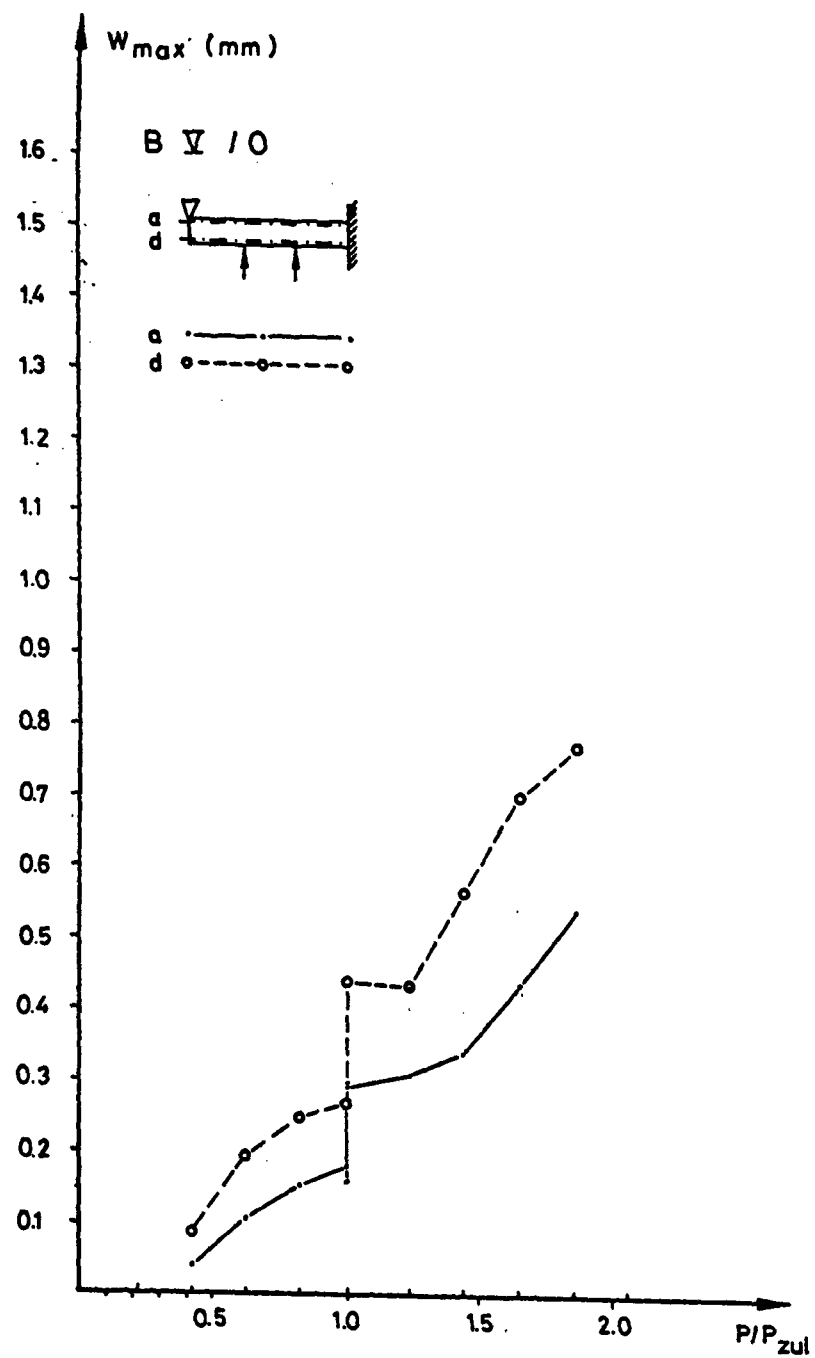


Bild 6.105: Größte Rißbreite von Versuchskörper BV in Abhängigkeit von der Last

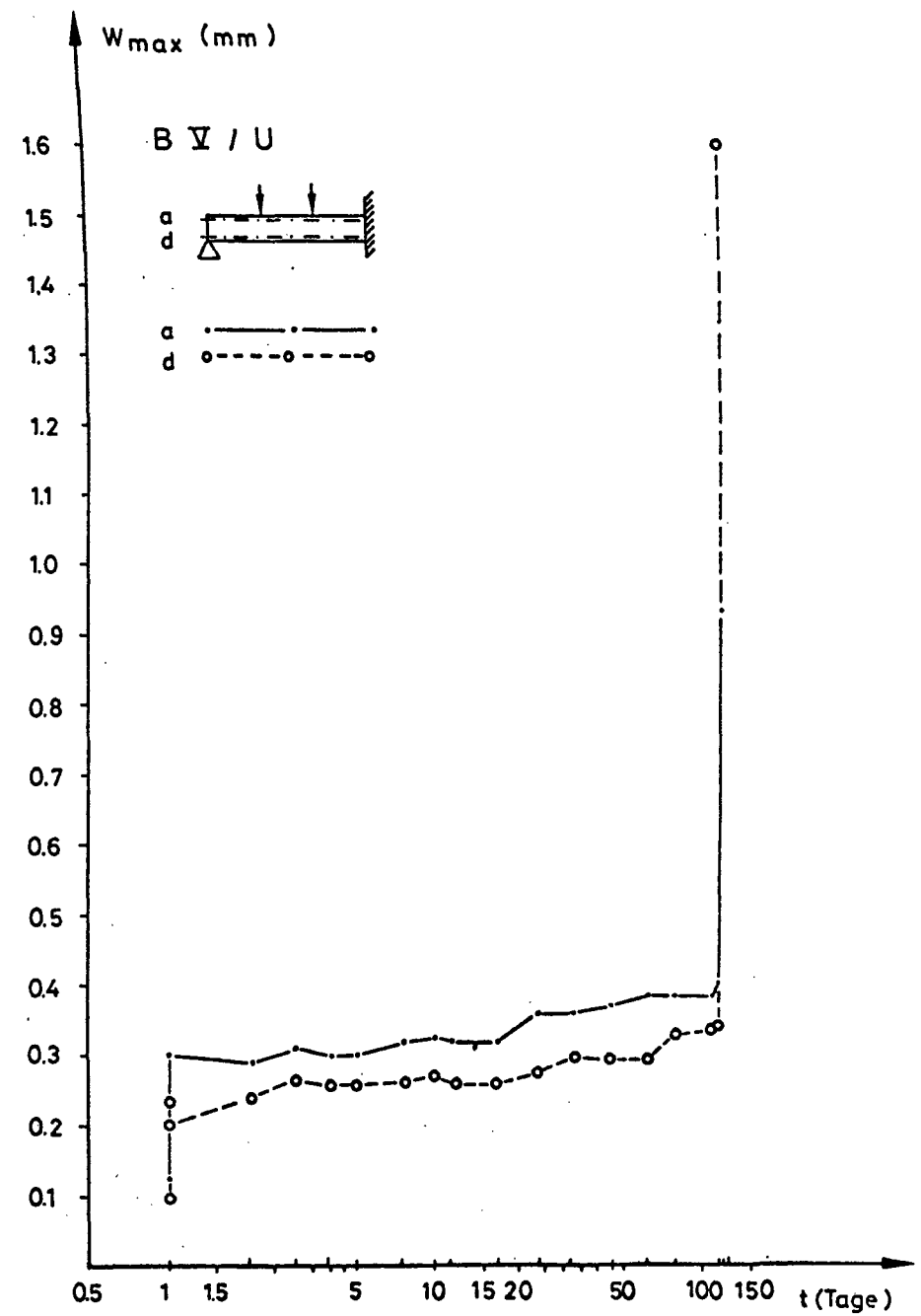
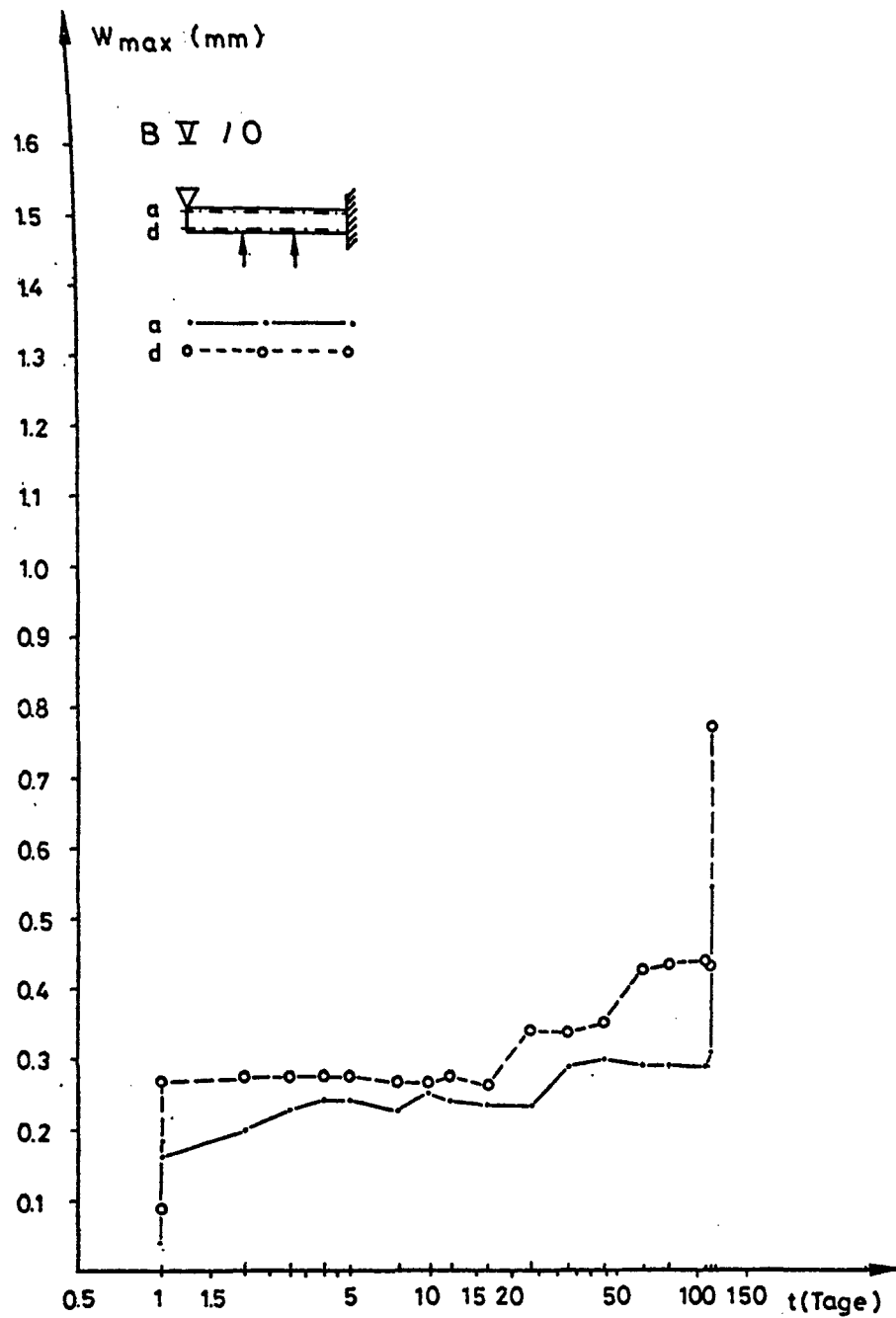


Bild 6.106: Größte Rißbreite von Versuchskörper BV in Abhängigkeit von der Zeit

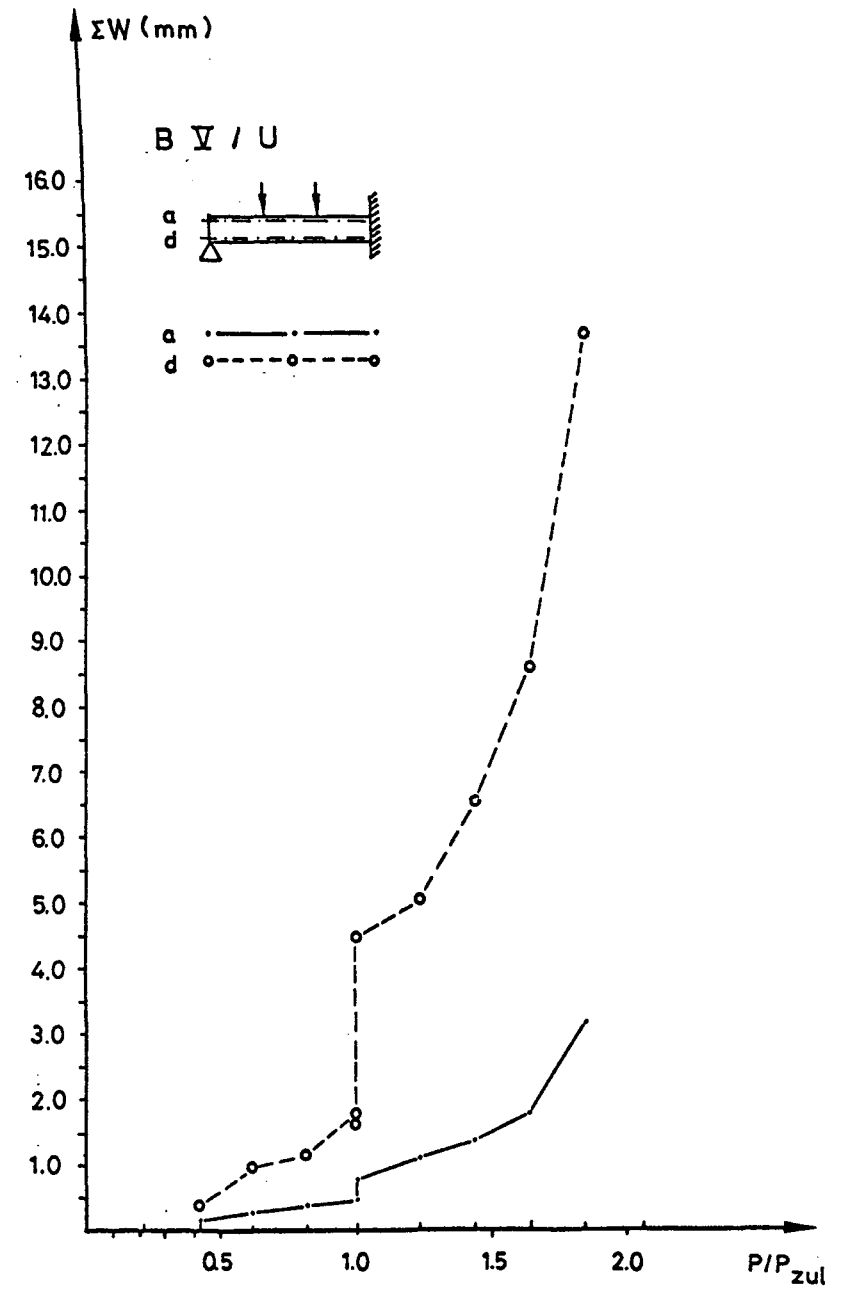
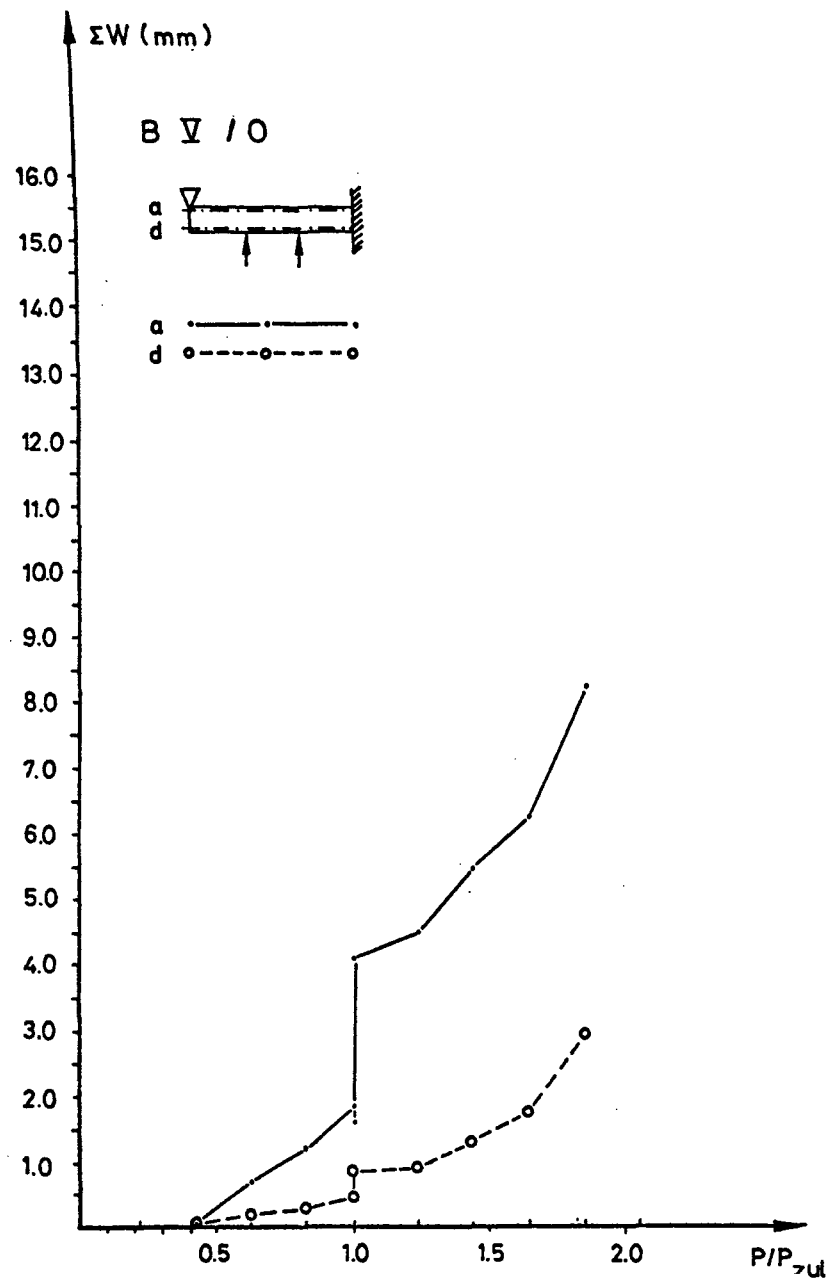


Bild 6.107: Zunahme der Rißbreiten von Versuchskörper BV in Abhängigkeit von der Last

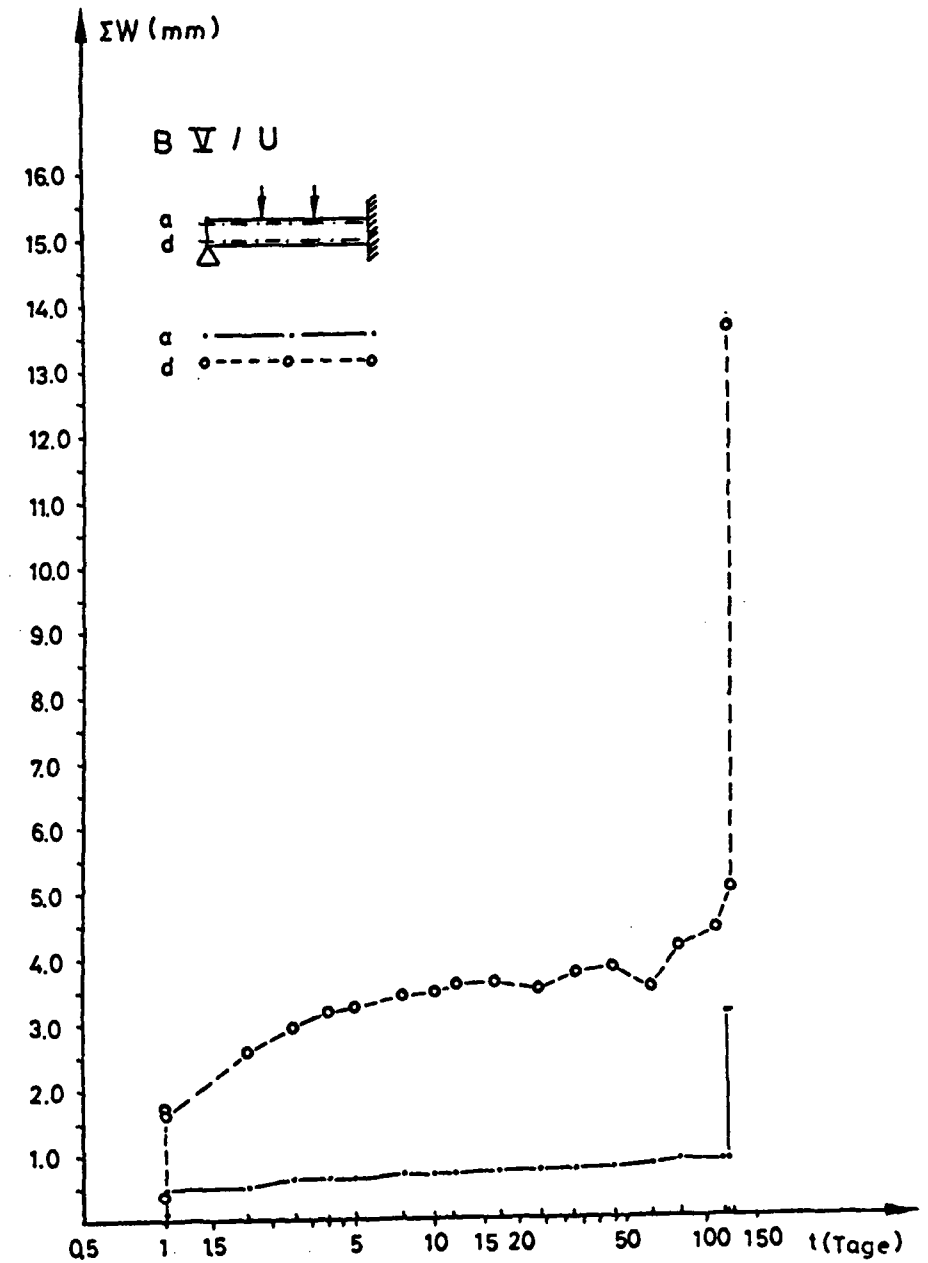
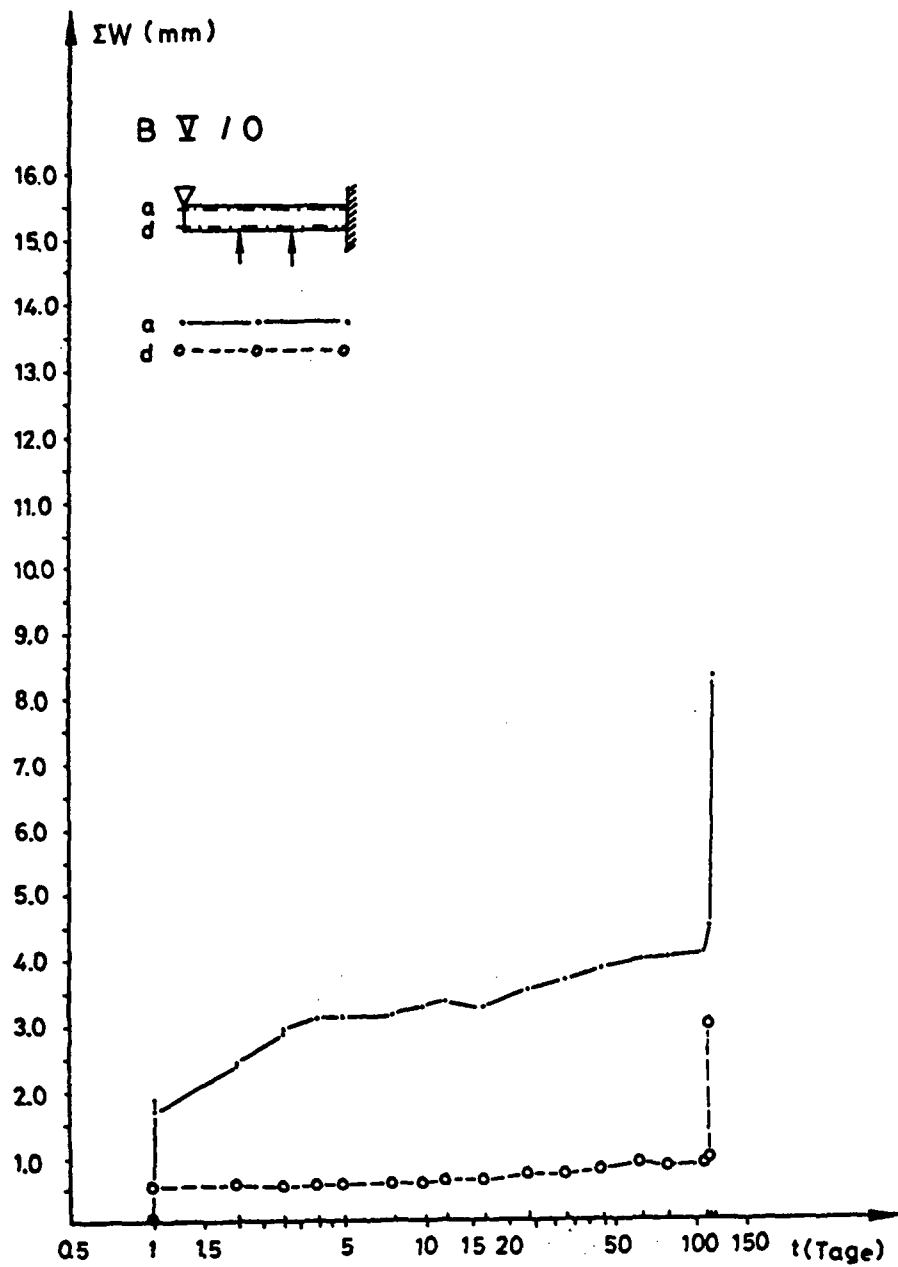


Bild 6.108: Zunahme der Rißbreiten von Versuchskörper BV in Abhängigkeit von der Zeit

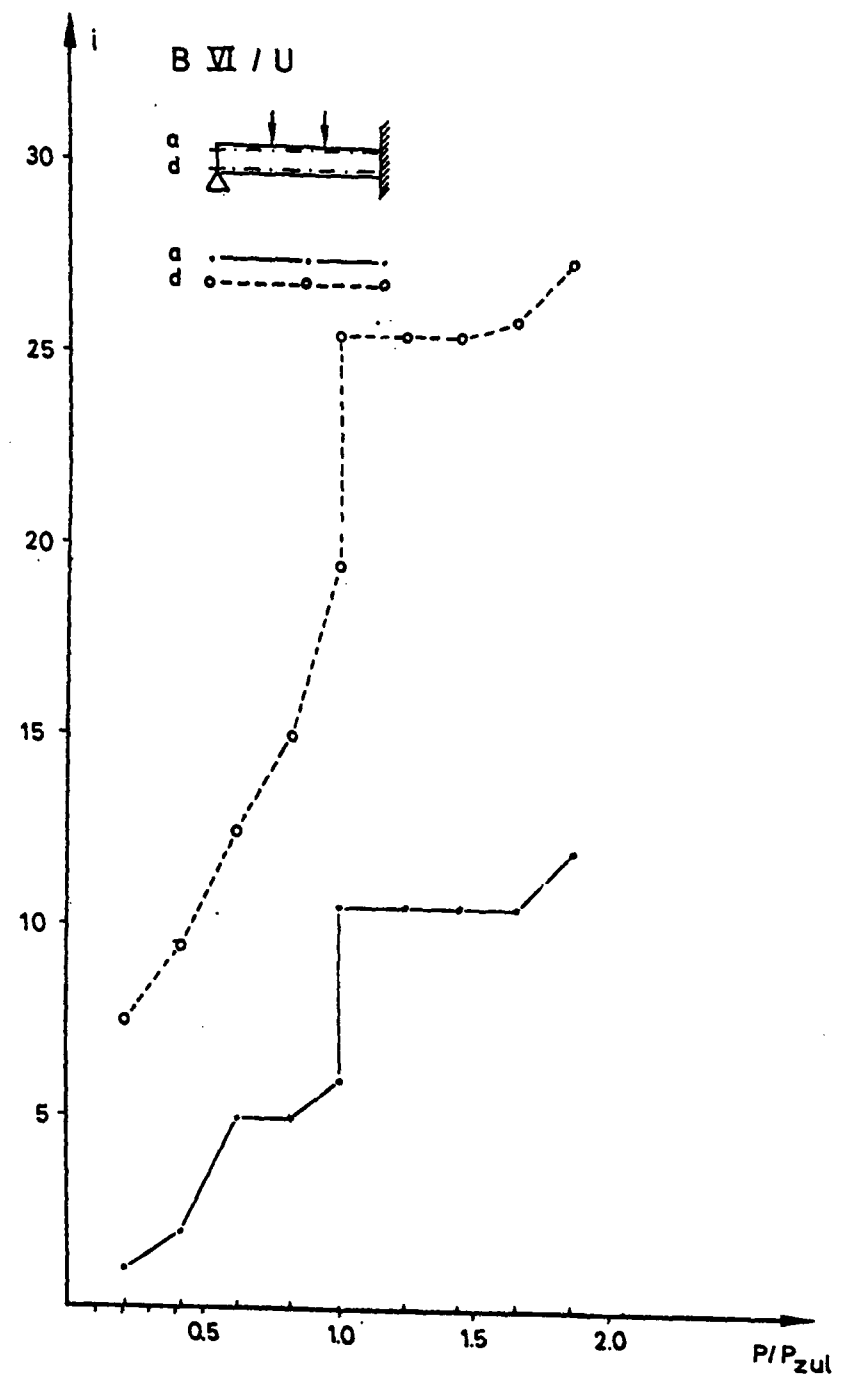
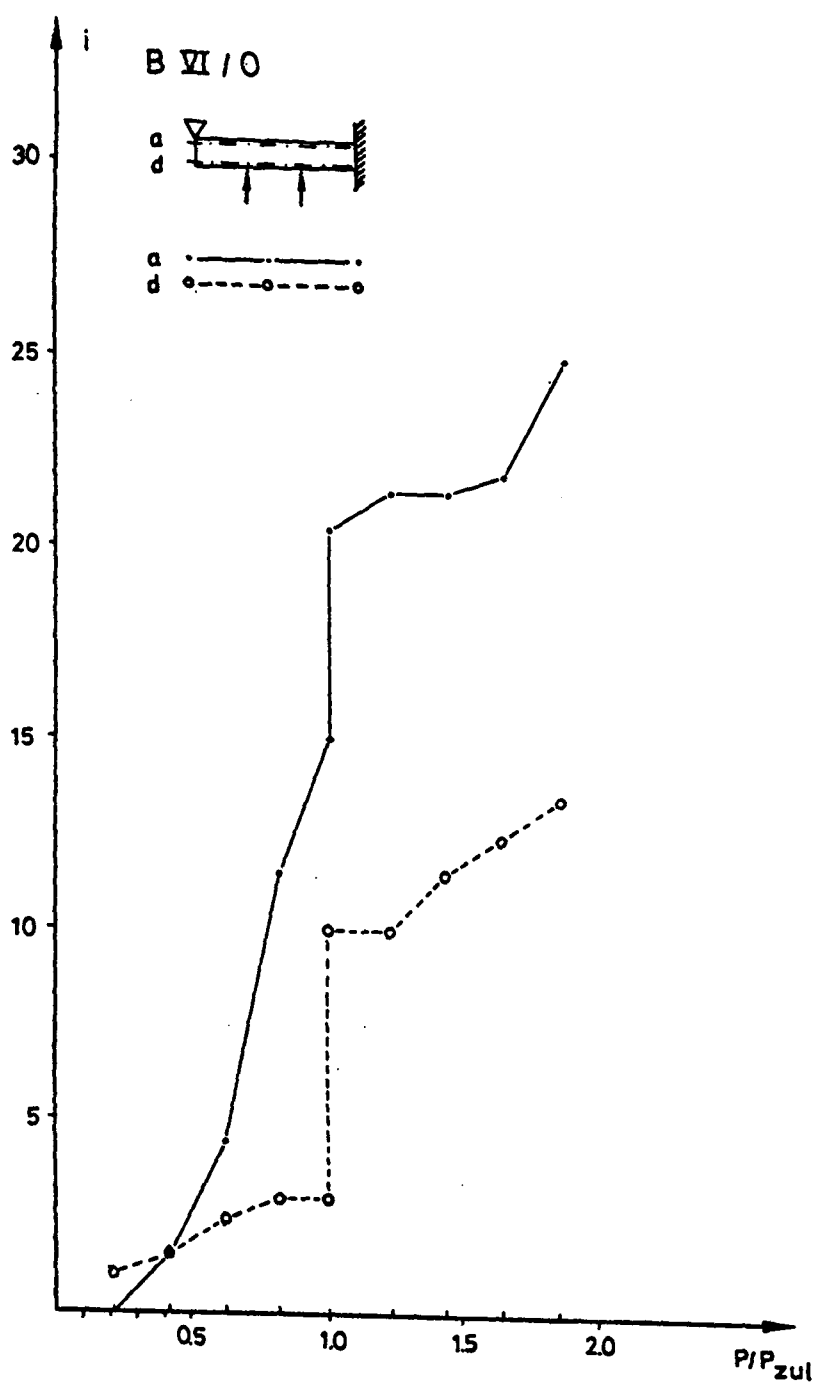


Bild 6.109: Anzahl der Risse von Versuchskörper BVI in Abhängigkeit von der Last

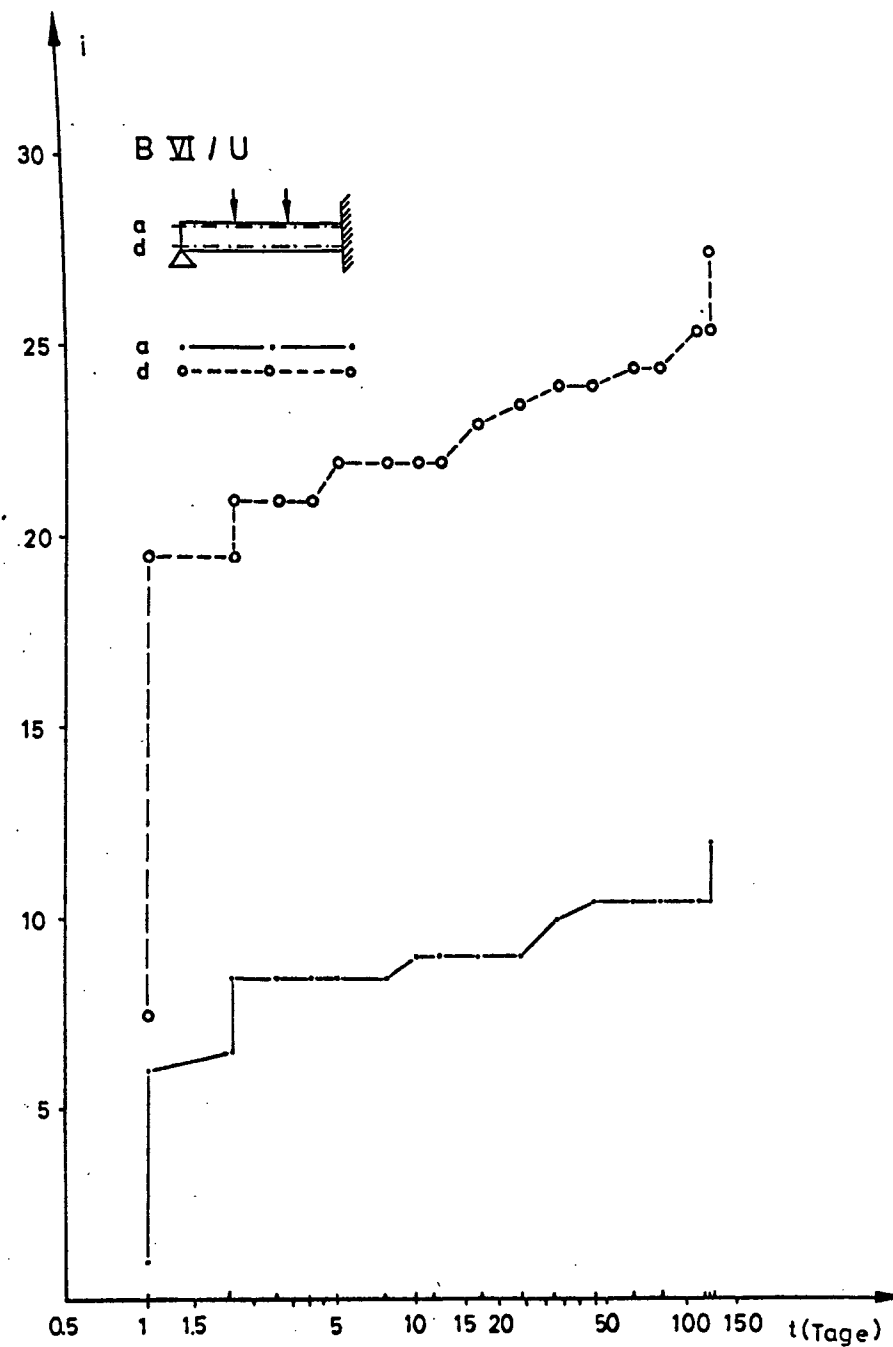
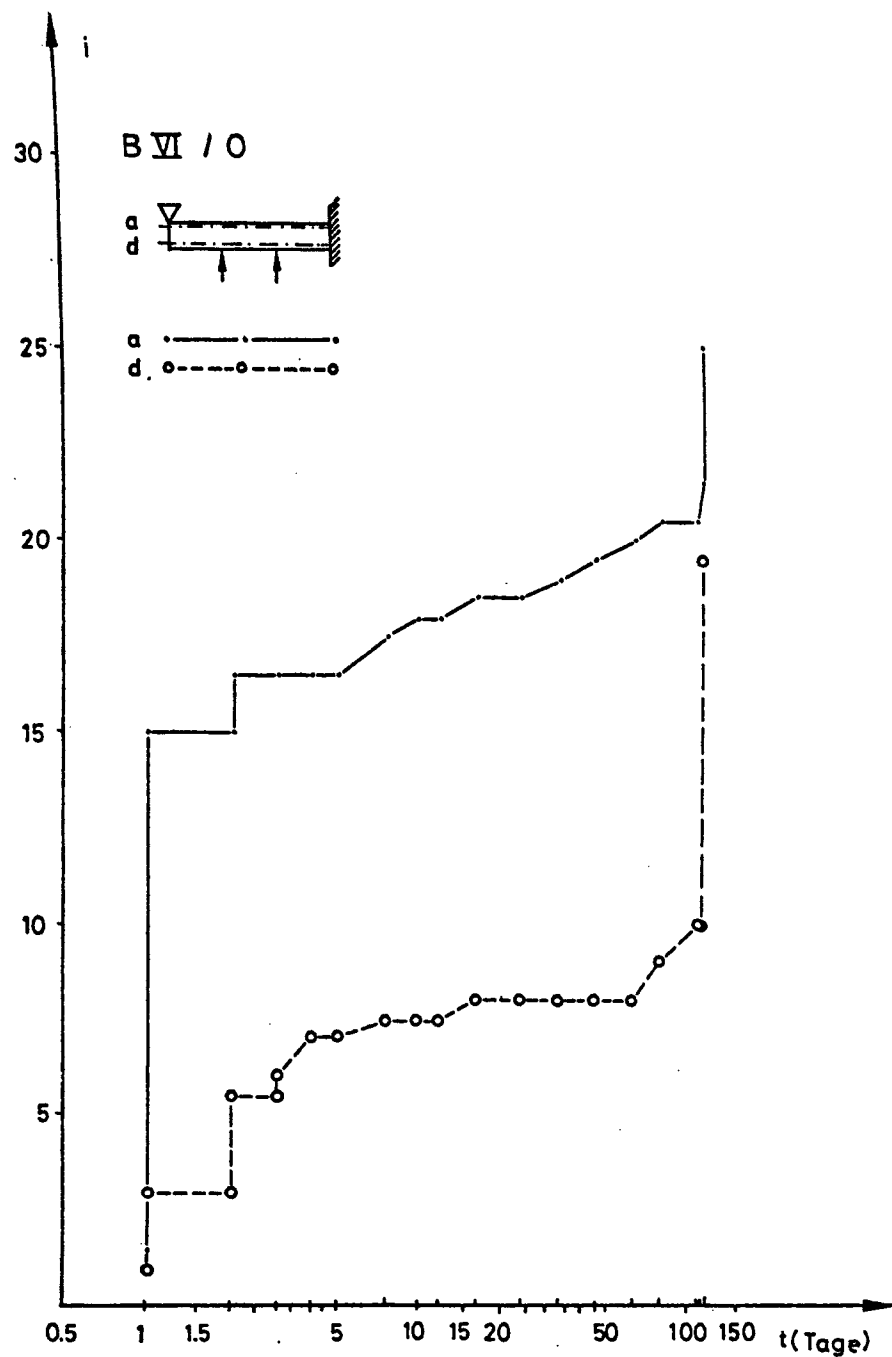


Bild 6.110: Anzahl der Risse von Versuchskörper BVI in Abhängigkeit von der Zeit

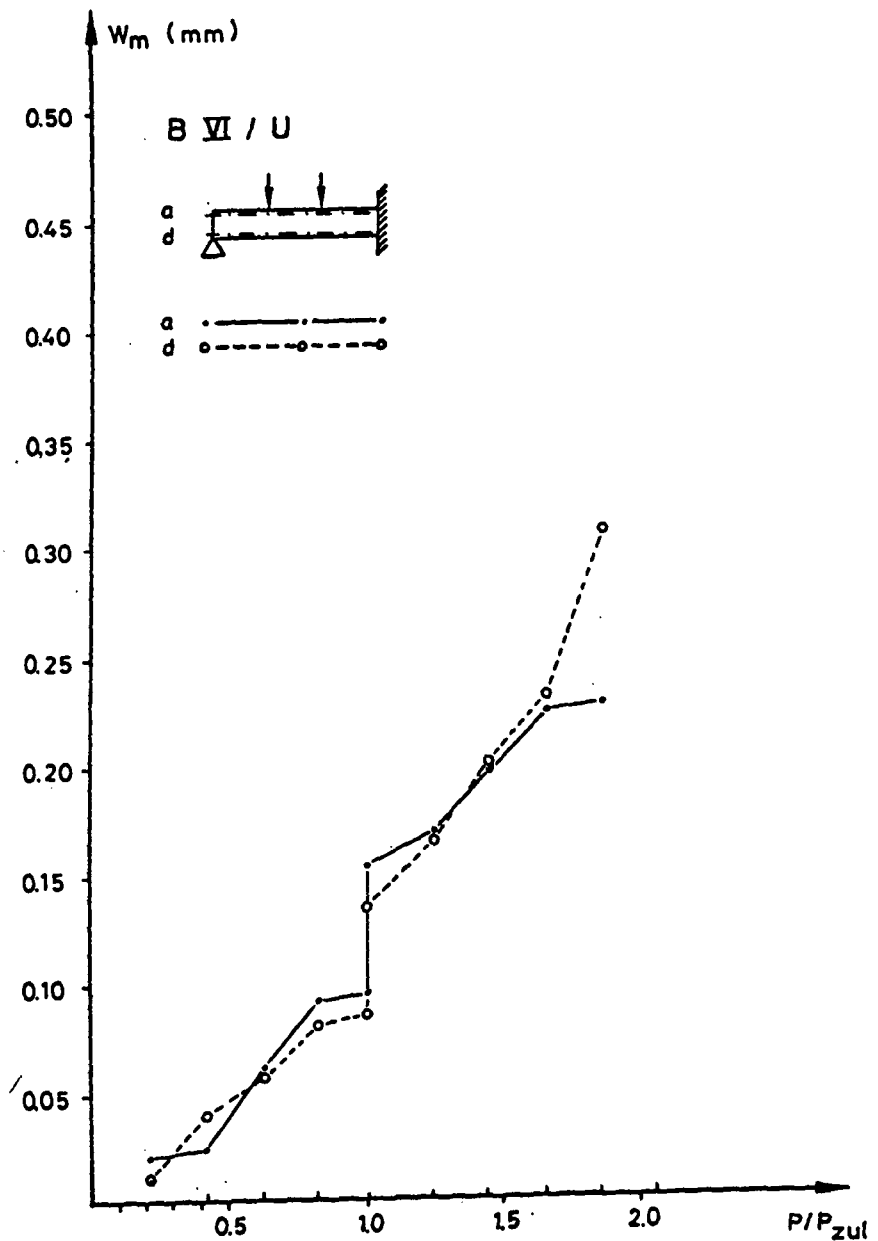
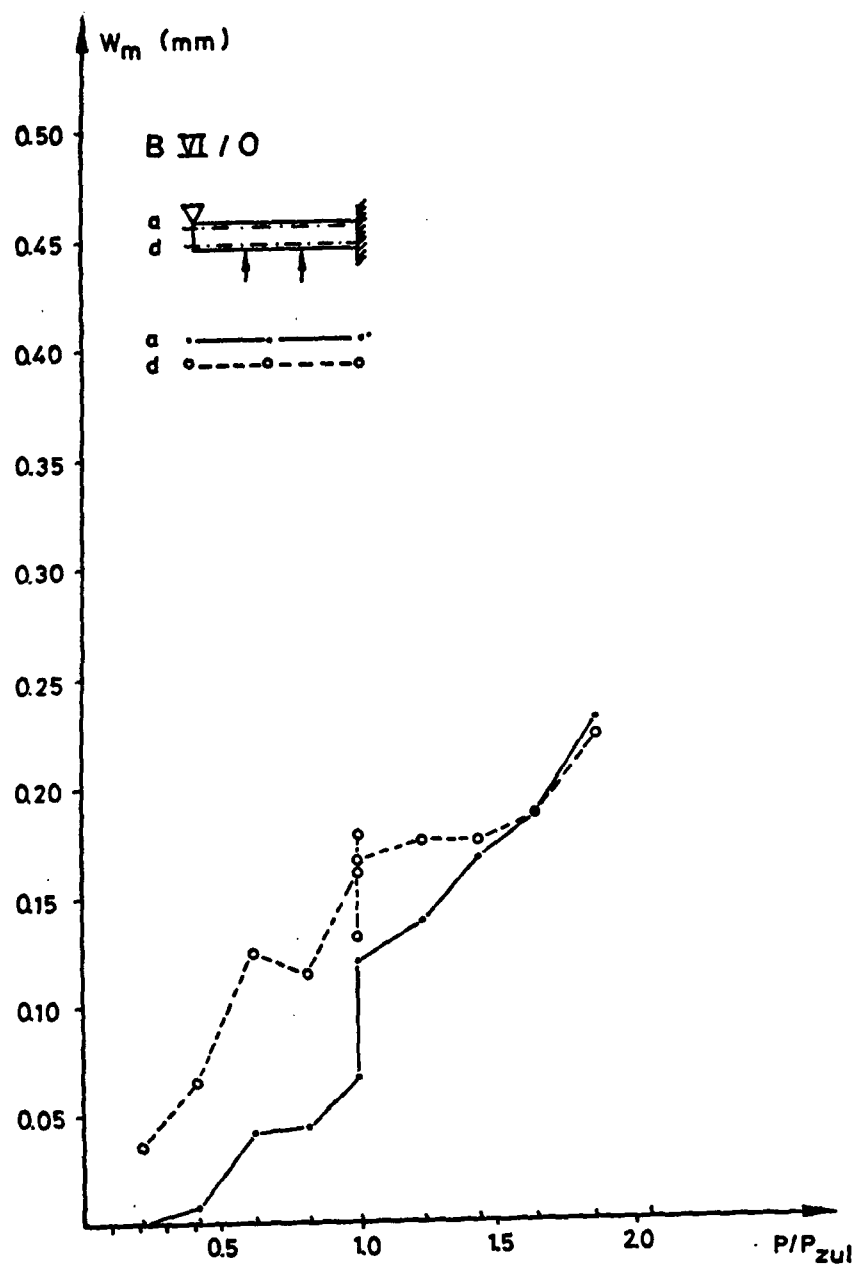


Bild 6.111: Mittlere Rißbreite von Versuchskörper EVI in Abhängigkeit von der Last

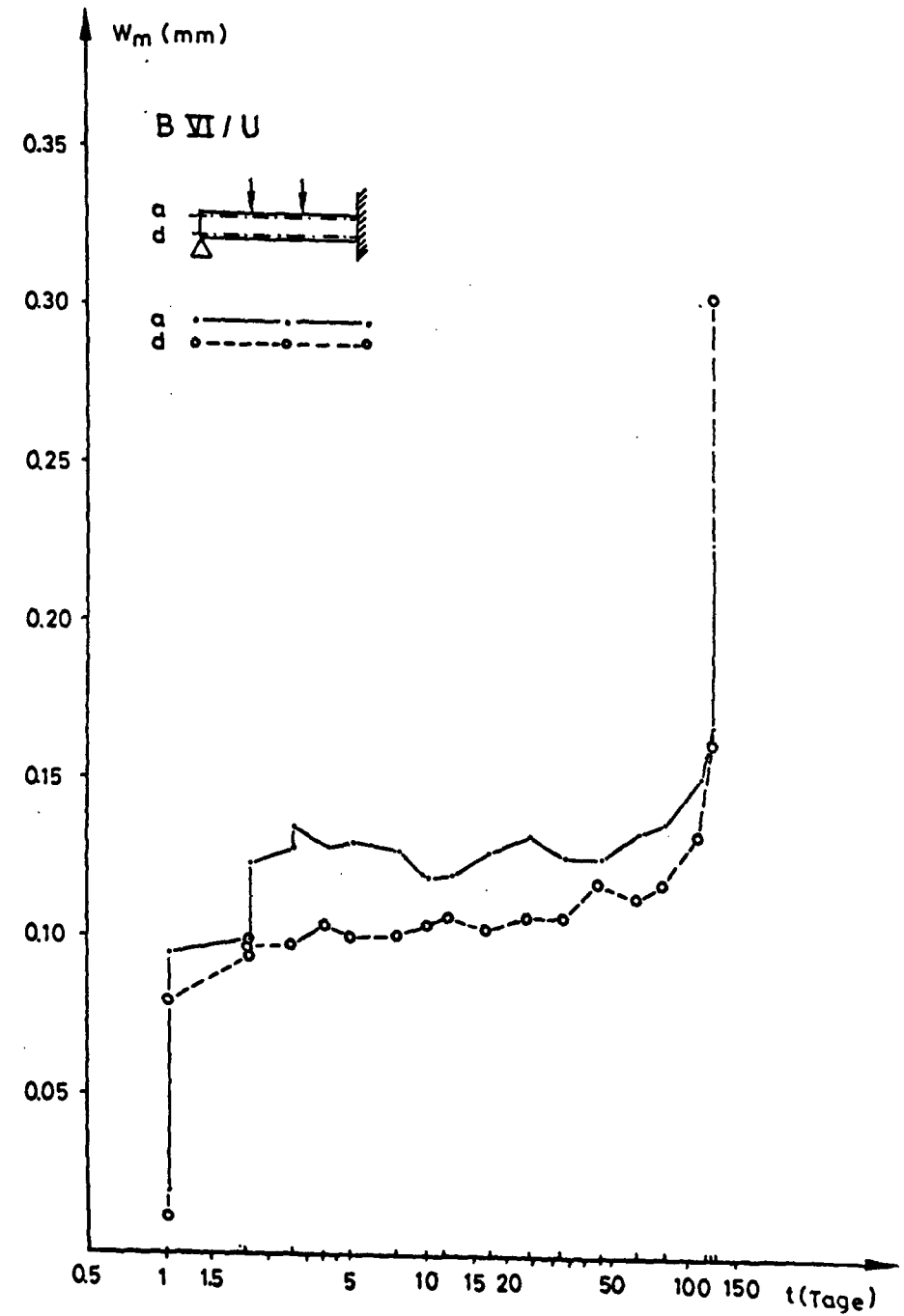
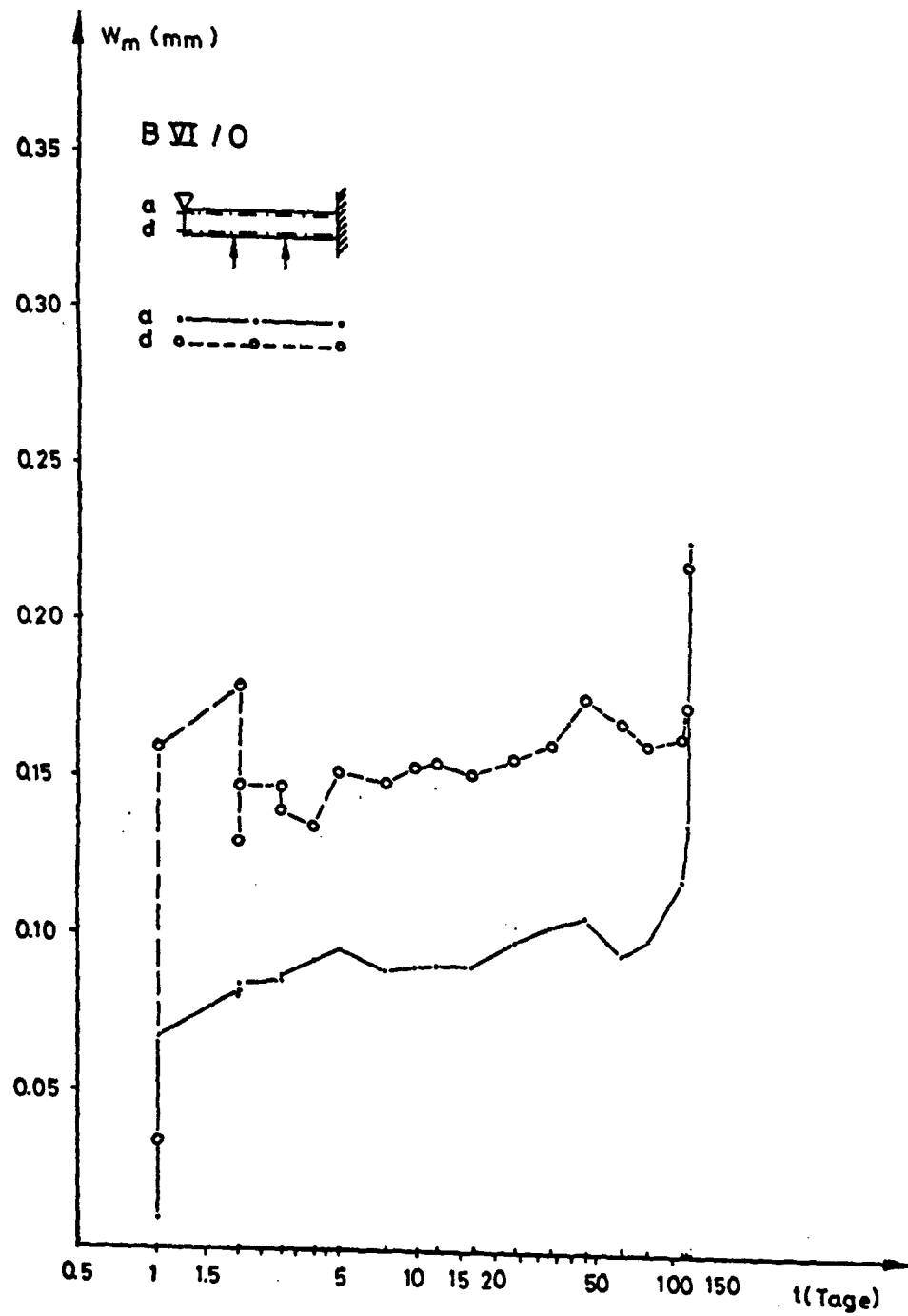


Bild 6.112: Mittlere Rißbreite von Versuchskörper BVI in Abhängigkeit von der Zeit

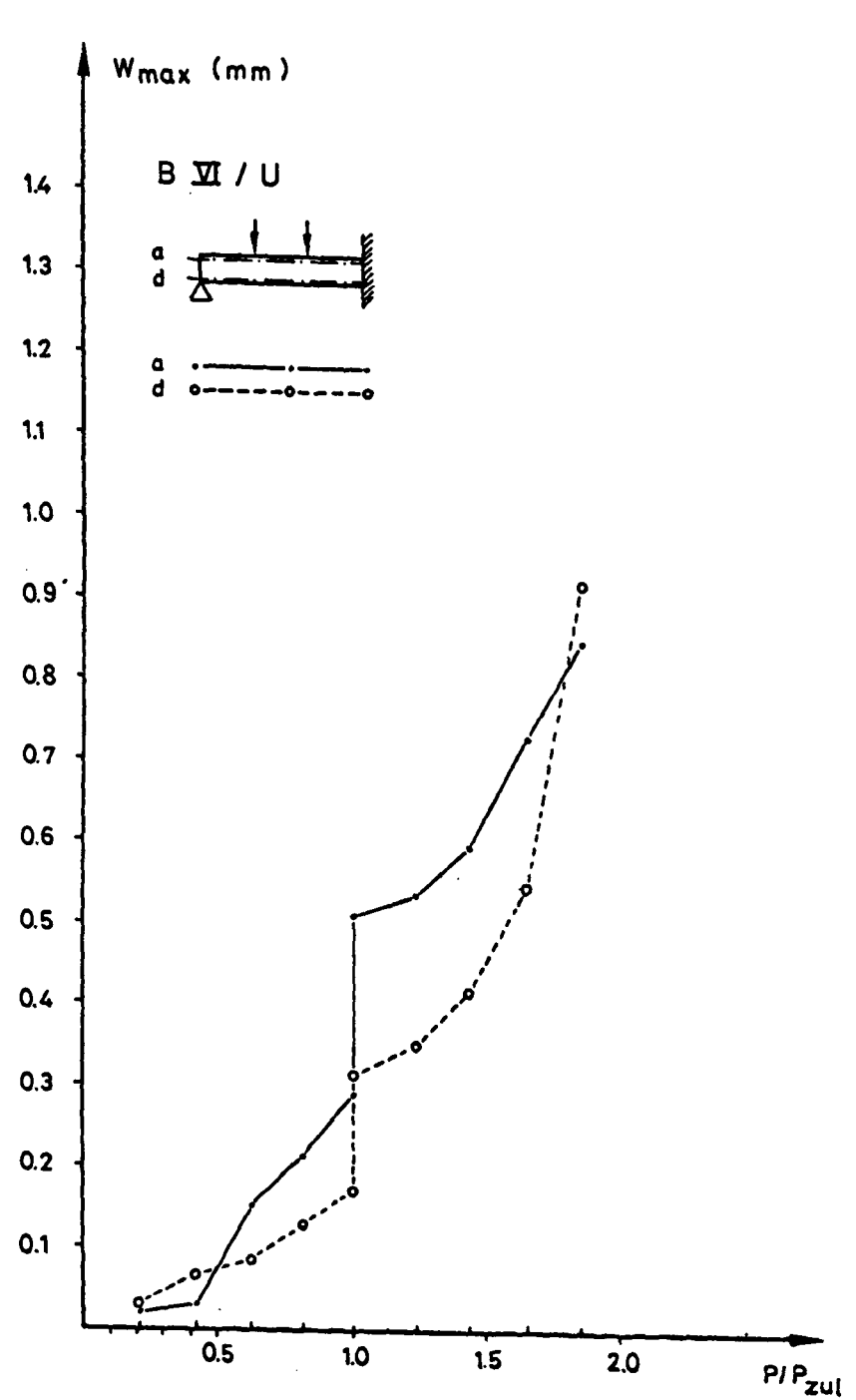
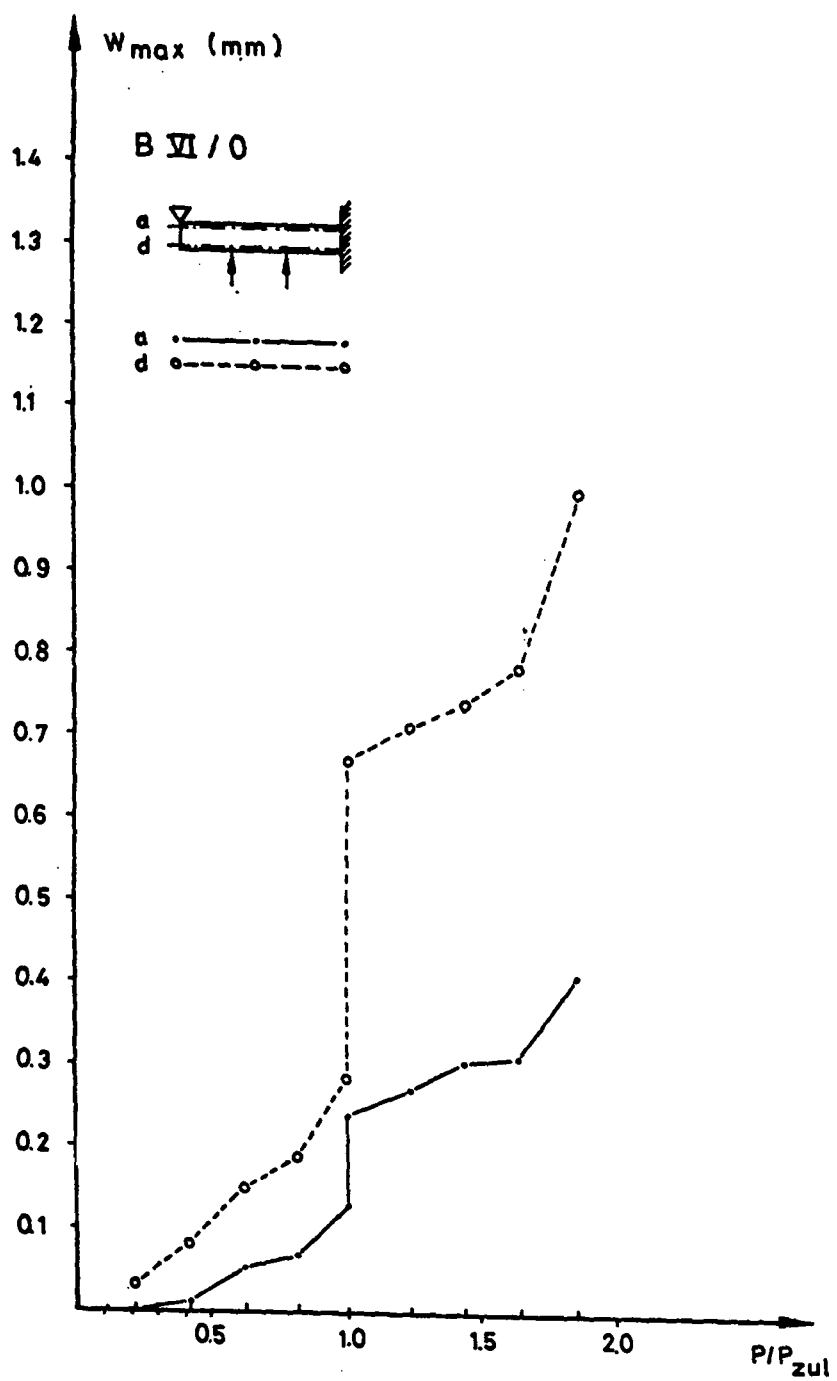


Bild 6.113: Größte Rißbreite von Versuchskörper BVI in Abhängigkeit von der Last

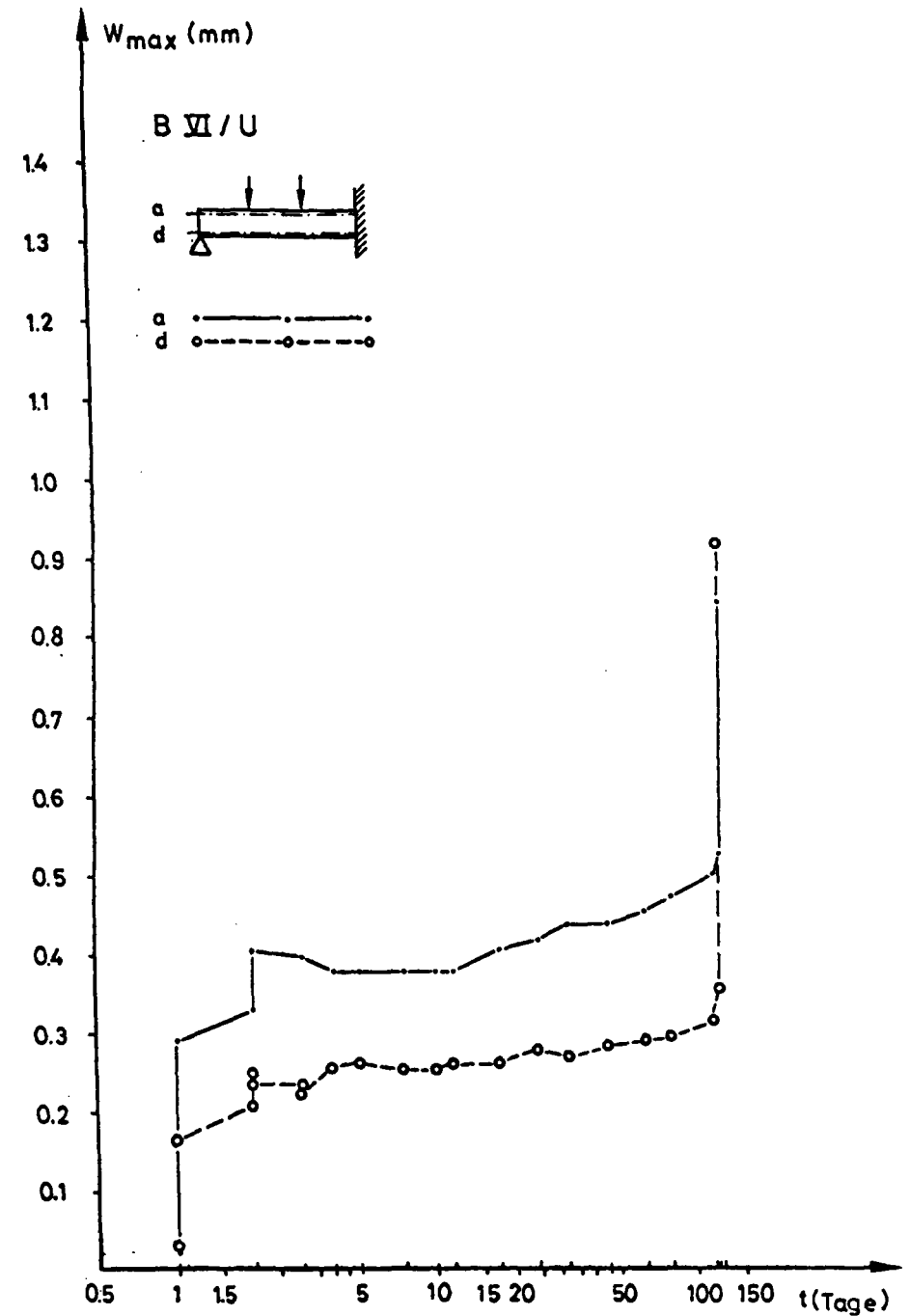
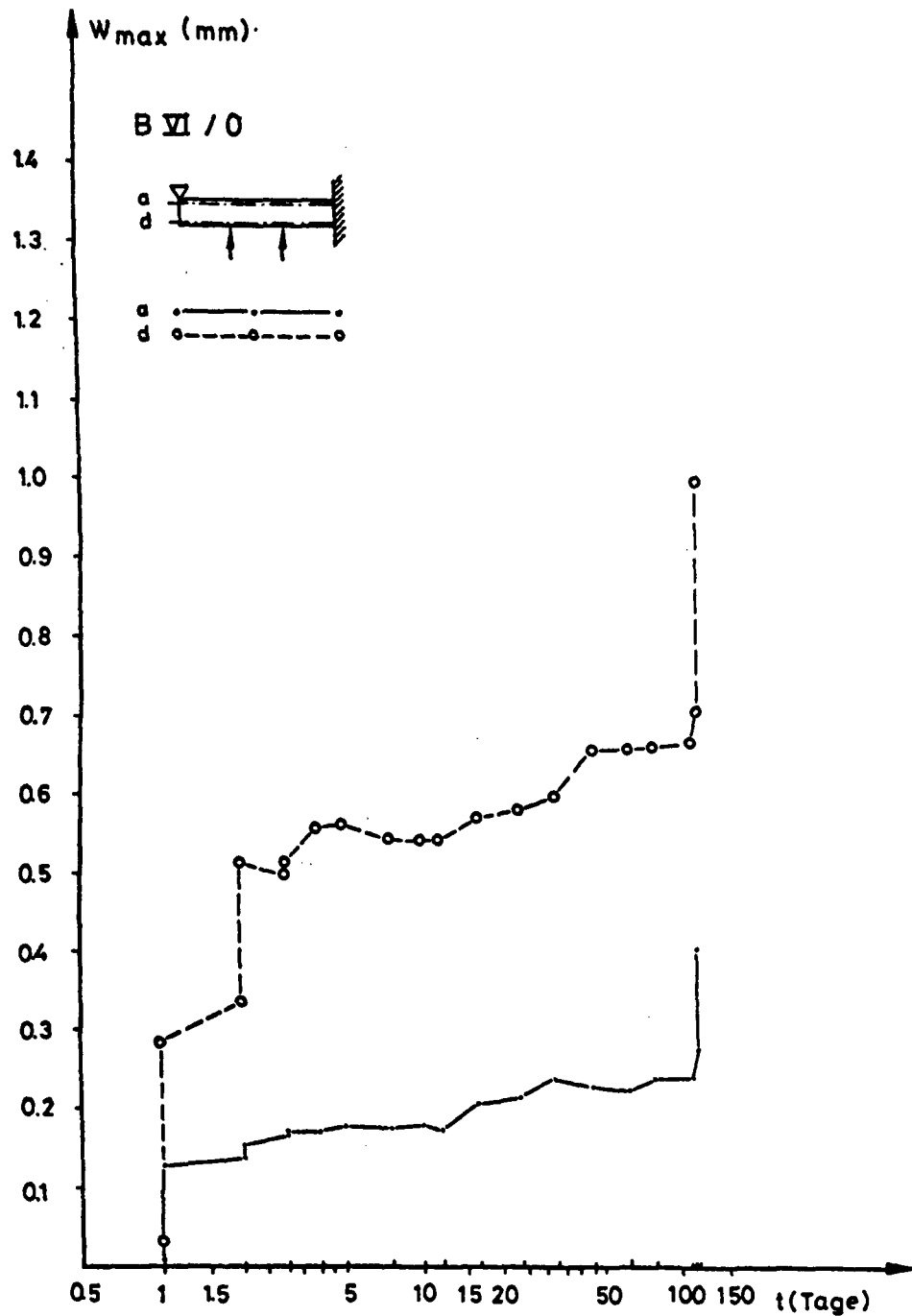


Bild 6.114: Größte Rißbreite von Versuchskörper BVI in Abhängigkeit von der Zeit

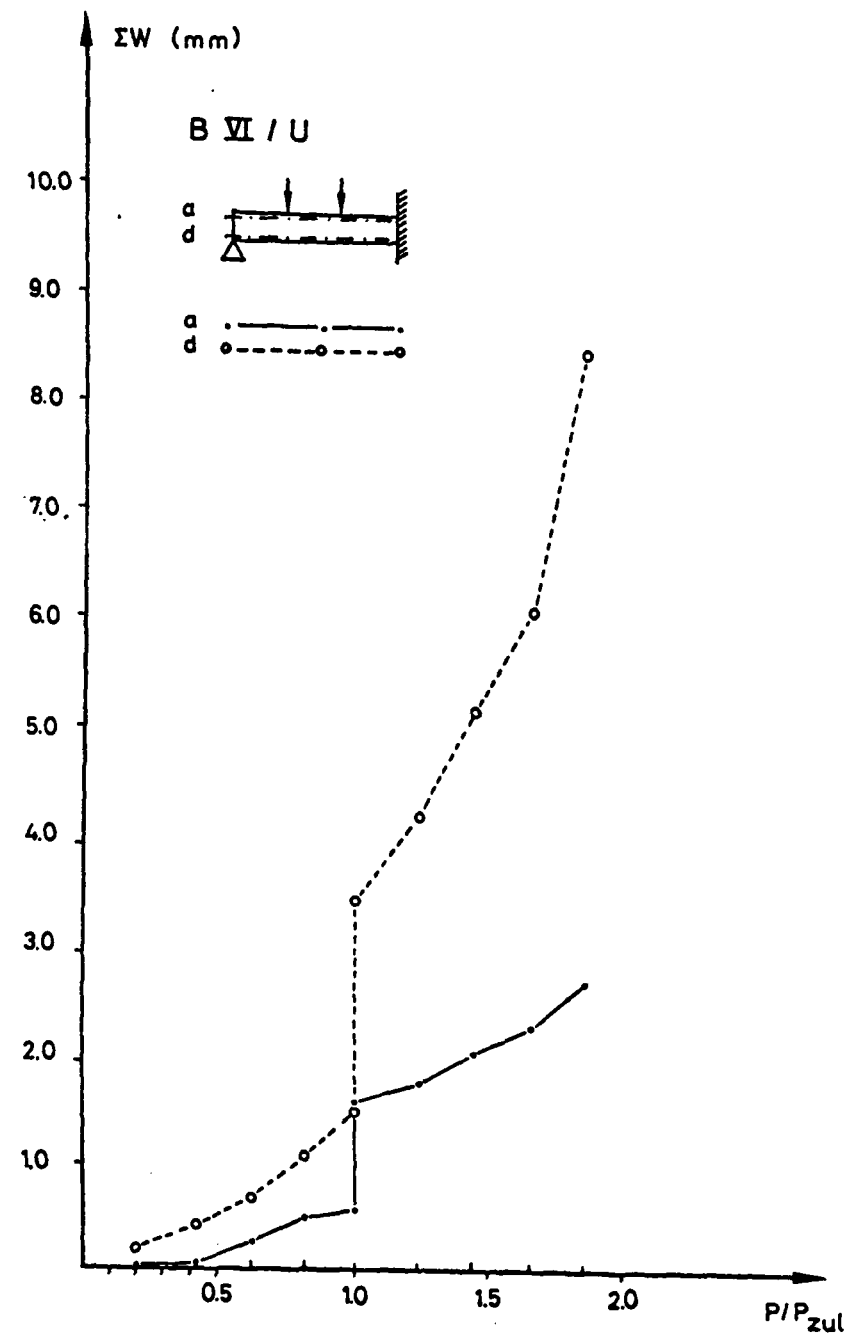
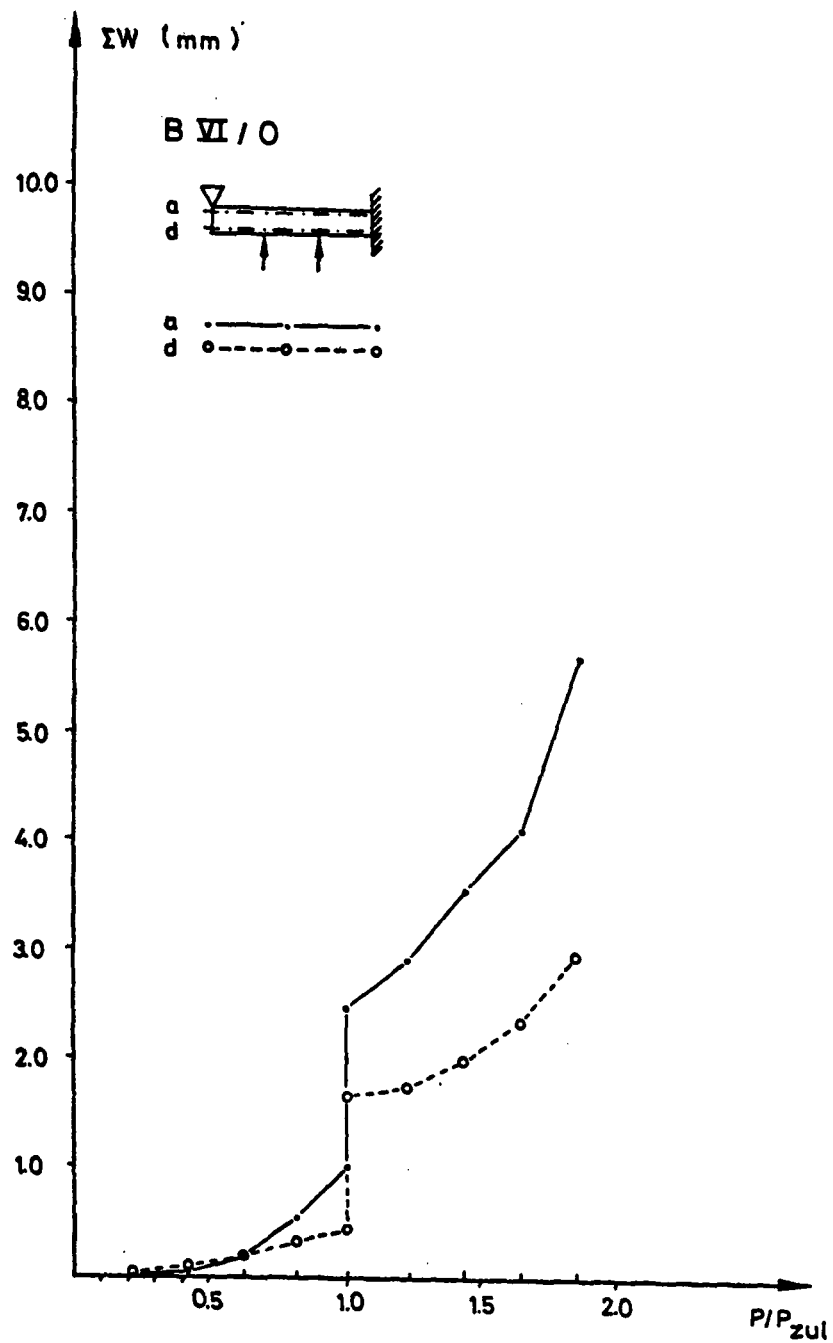


Bild 6.115: Zunahme der Rißbreiten von Versuchskörper BVI in Abhängigkeit von der Last

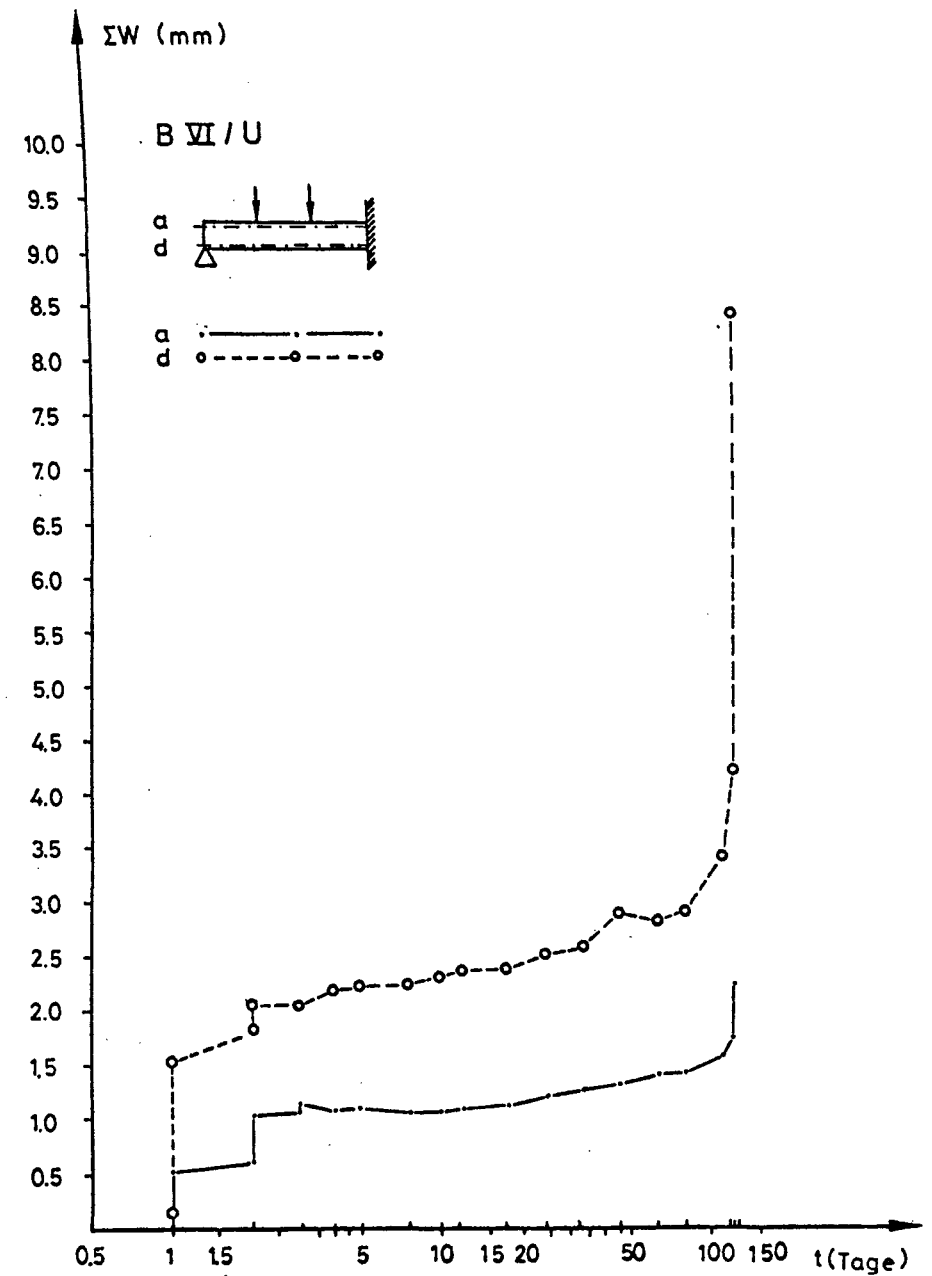
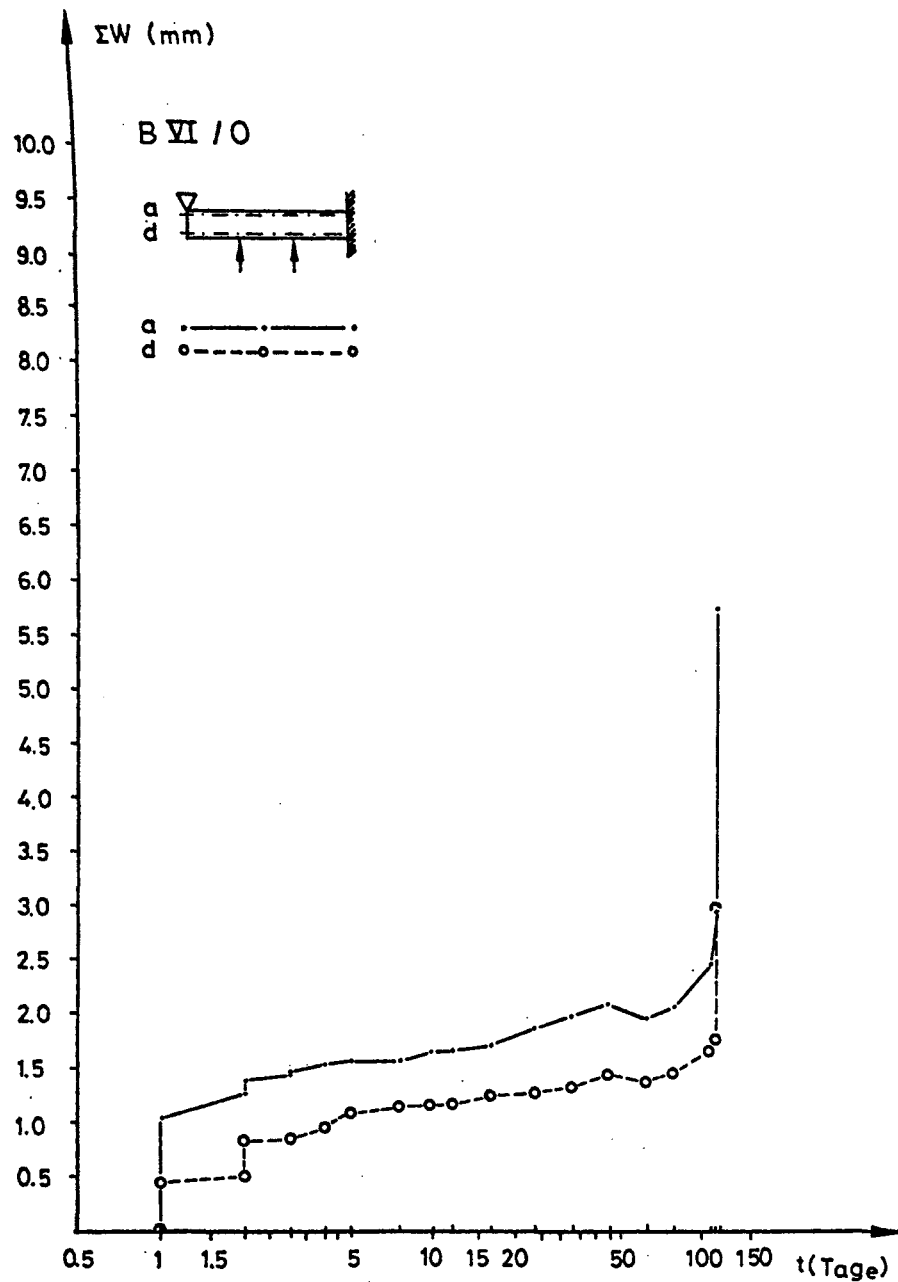


Bild 6.116: Zunahme der Rißbreiten von Versuchskörper BVI in Abhängigkeit von der Zeit

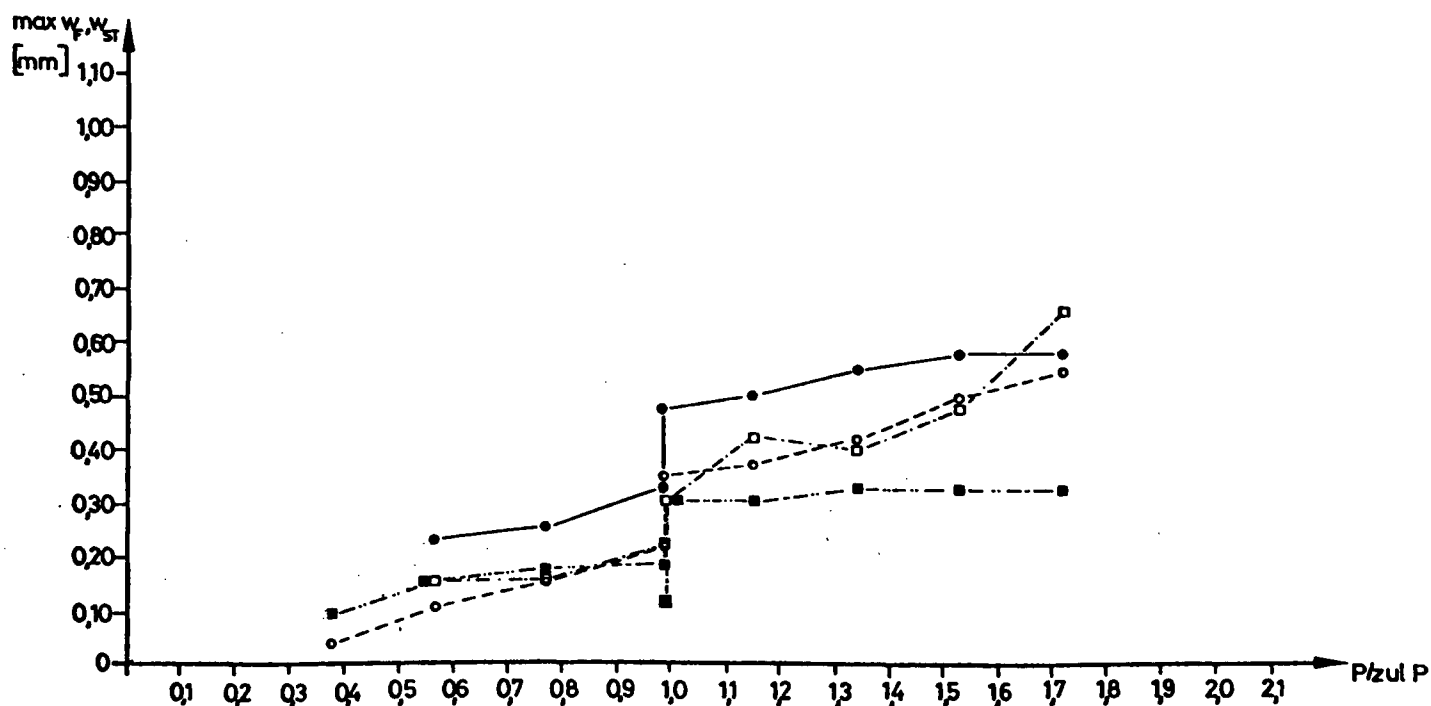
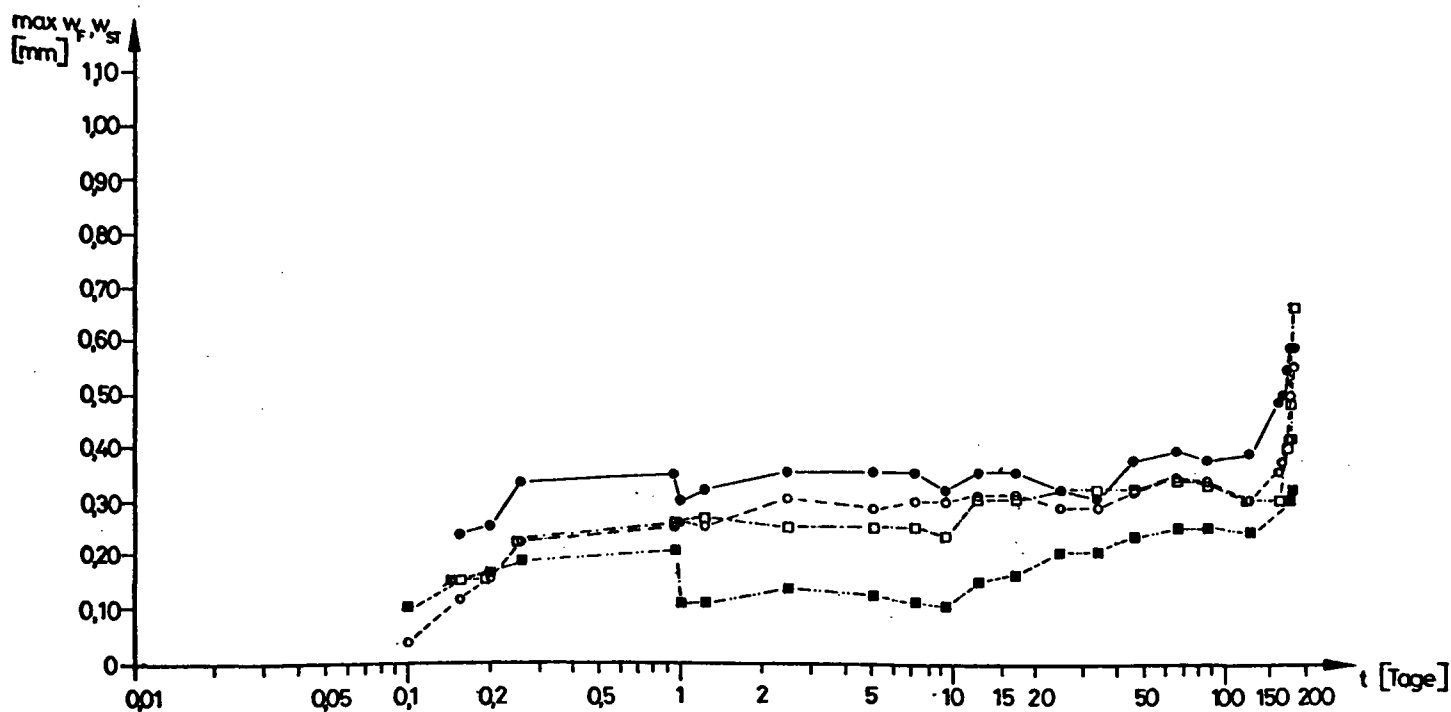
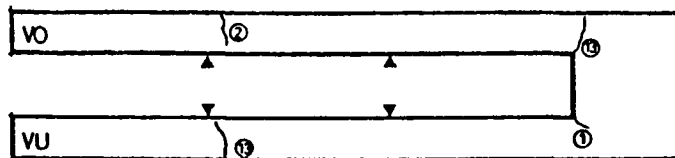
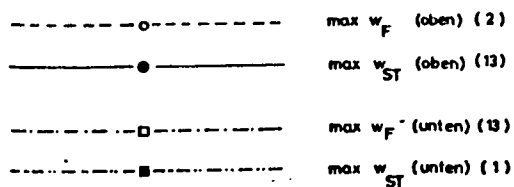


Bild 6.117: Entwicklung der maximalen Rißbreiten ausgewählter Risse - BIII

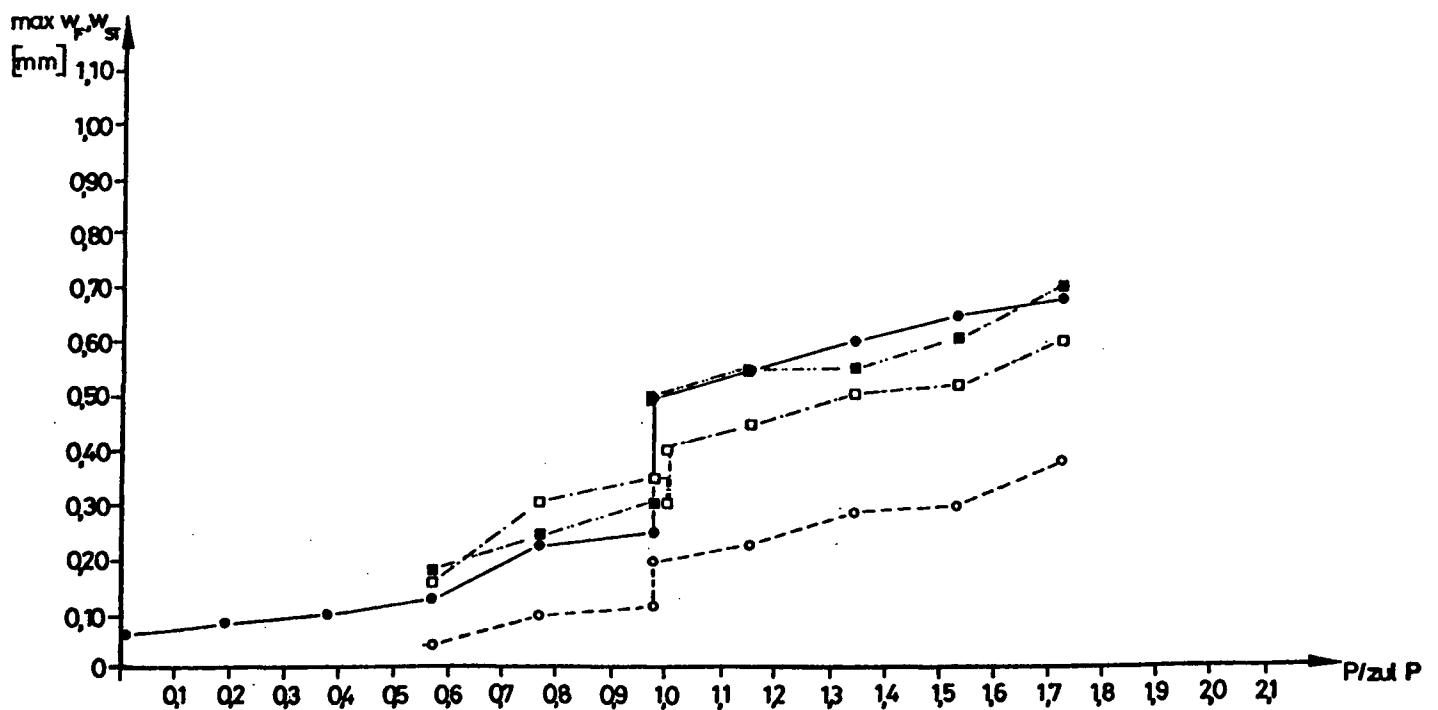
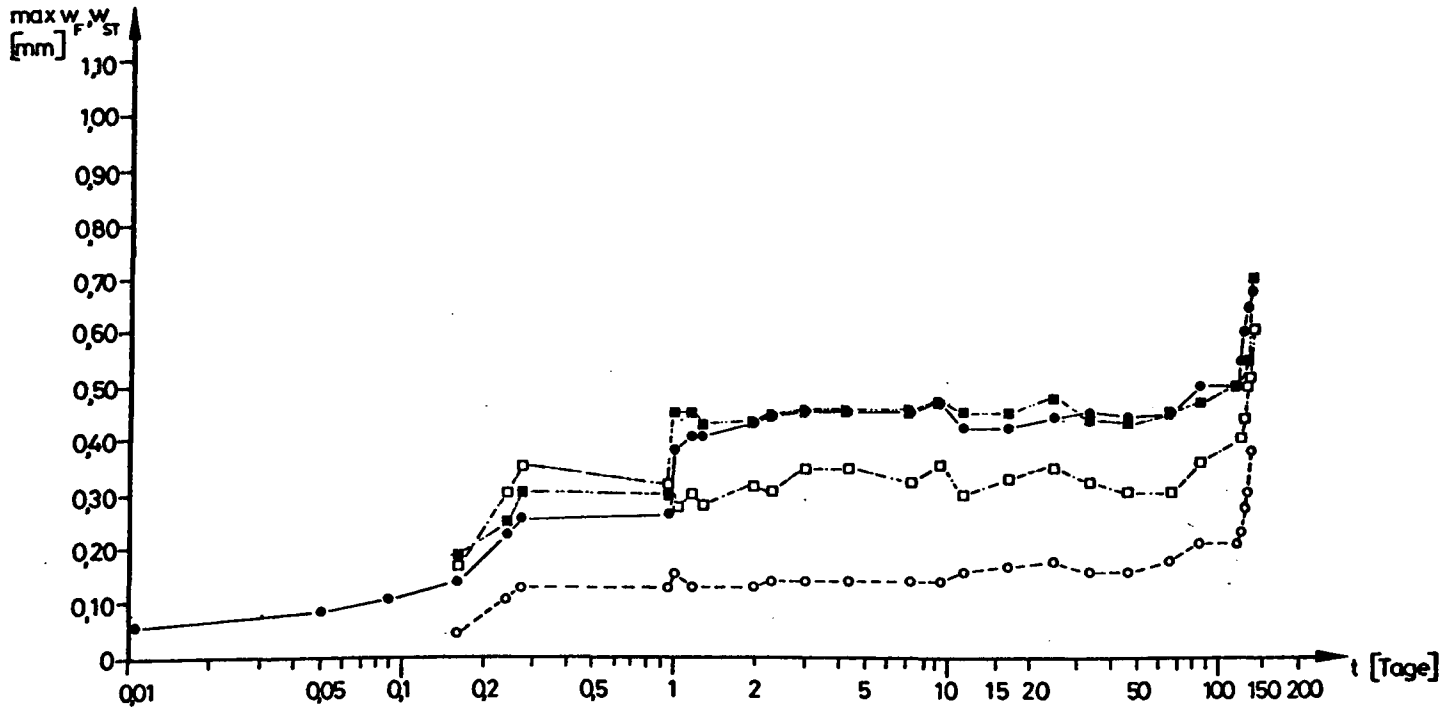
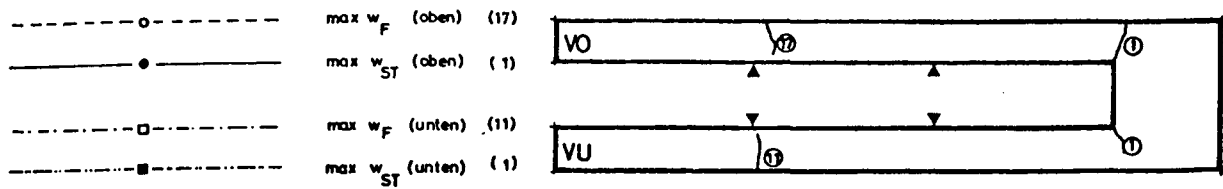


Bild 6.118: Entwicklung der maximalen Ribreiten ausgewählter Risse - BIV

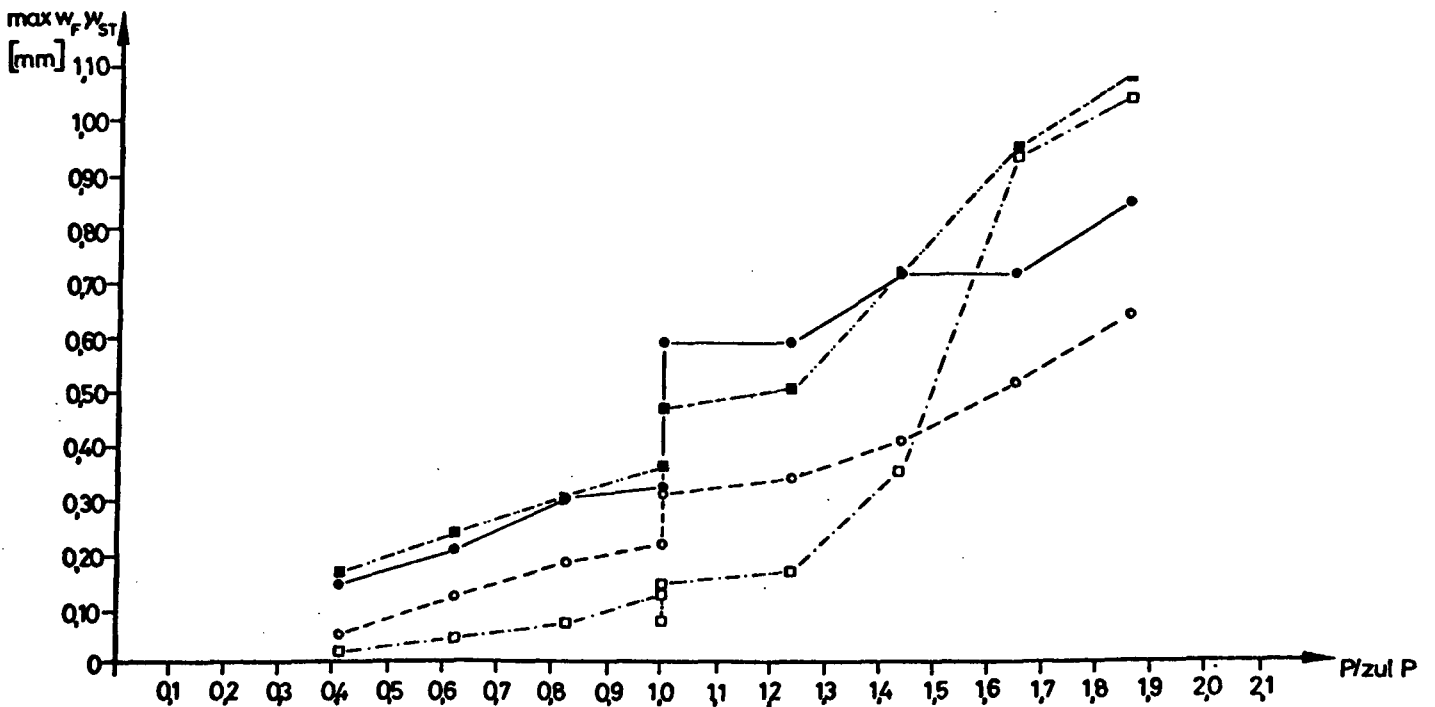
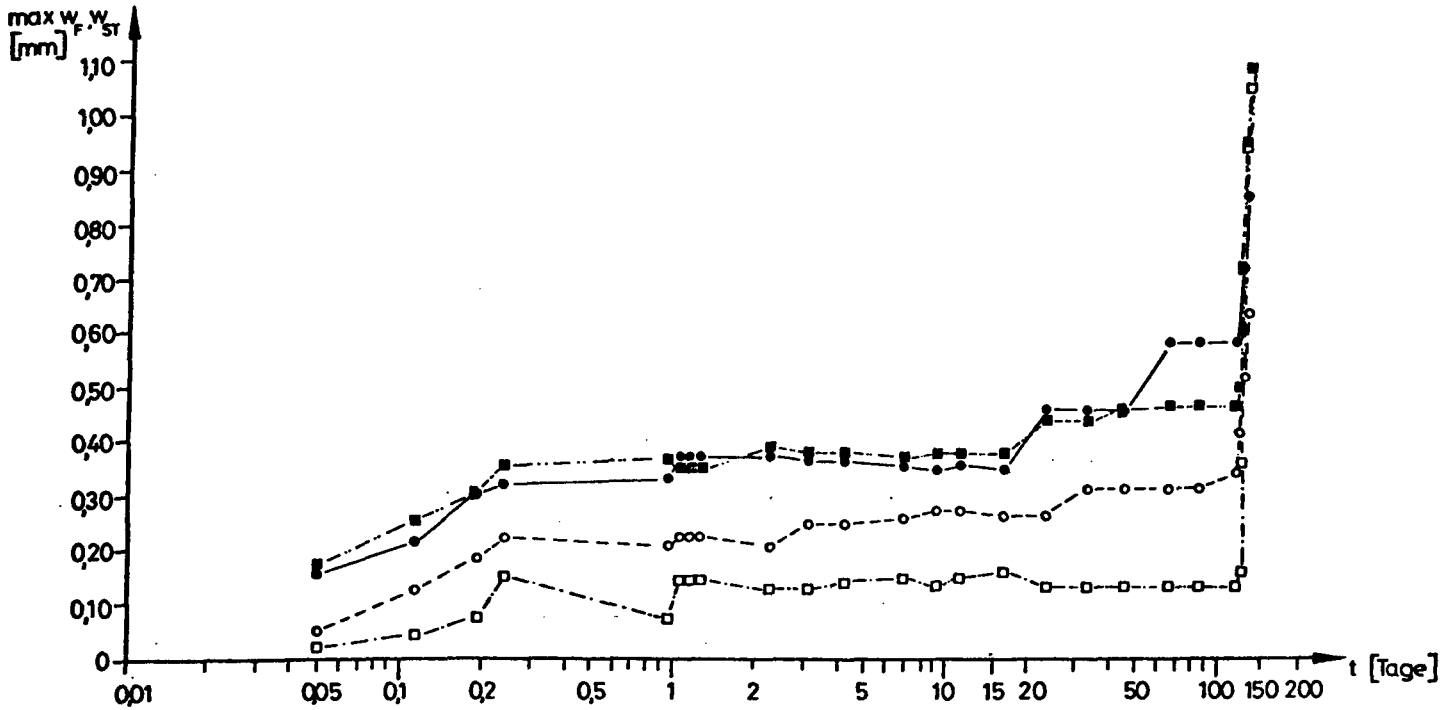
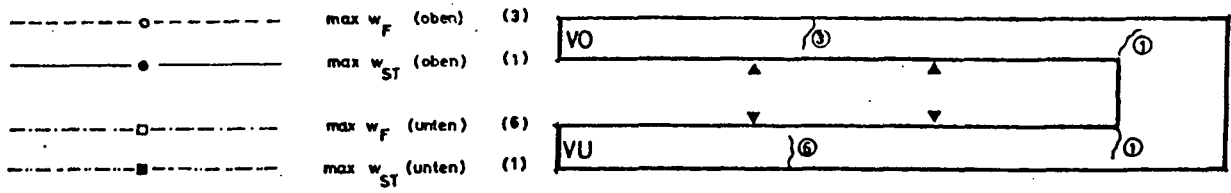


Bild 6.119: Entwicklung der maximalen Rißbreiten ausgewählter Risse - BV

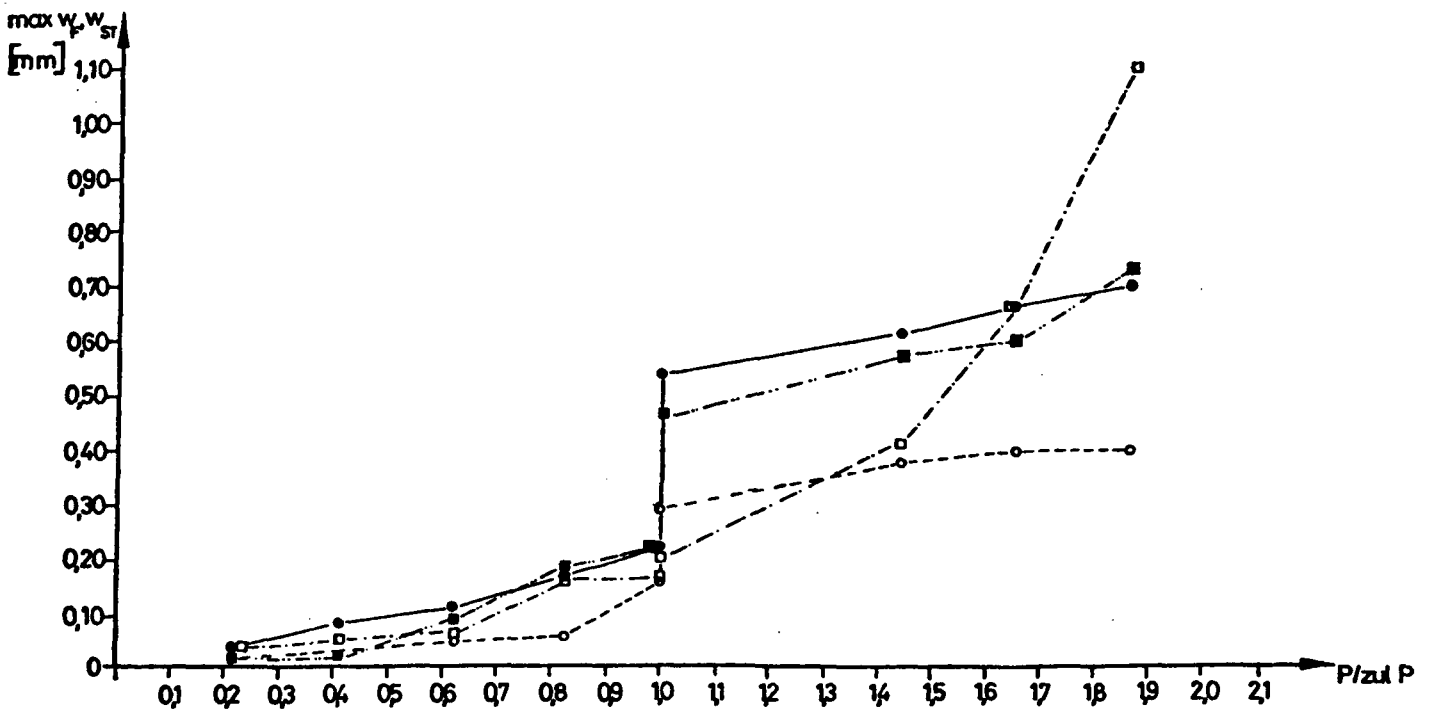
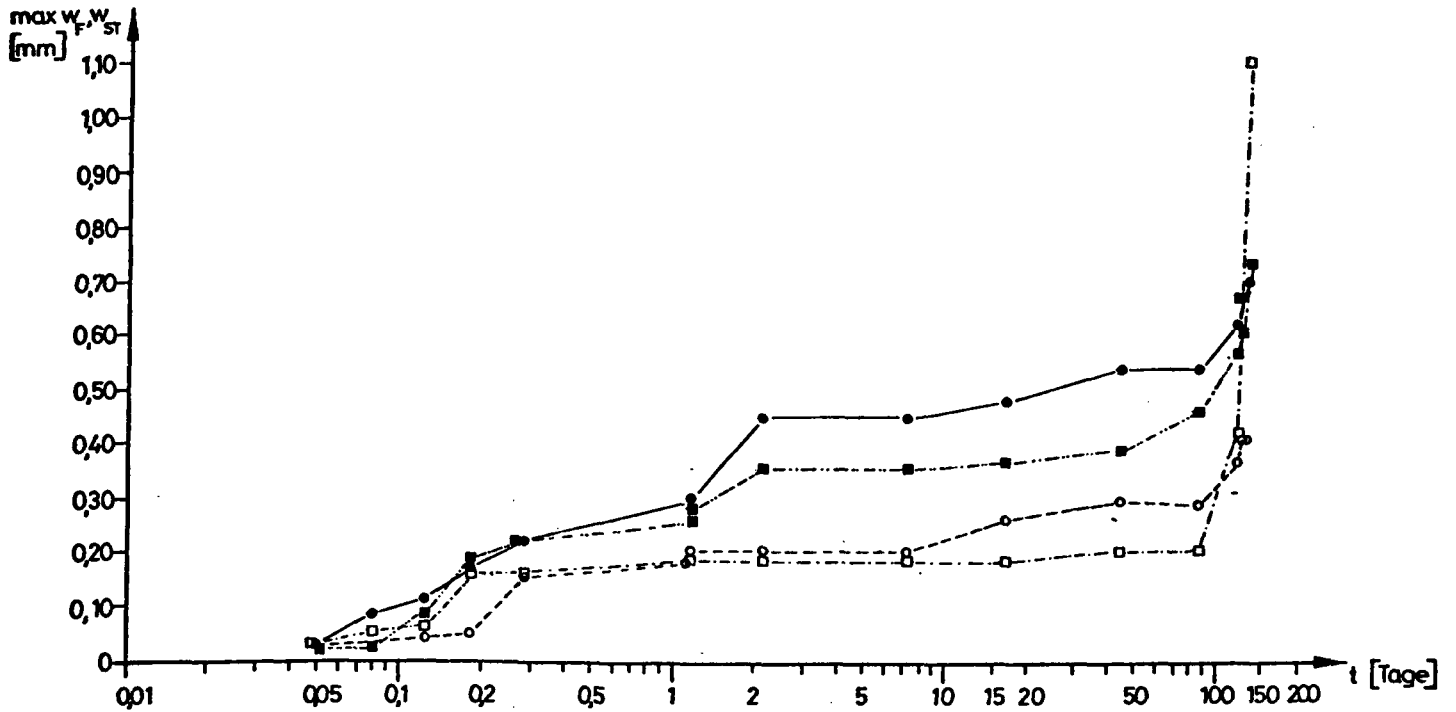
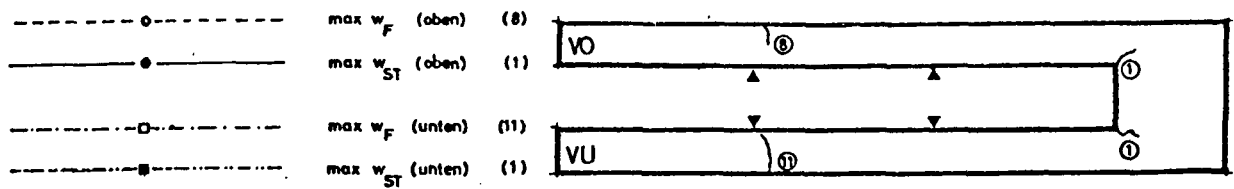


Bild 6.120: Entwicklung der maximalen Rißbreiten ausgewählter Risse - BVI

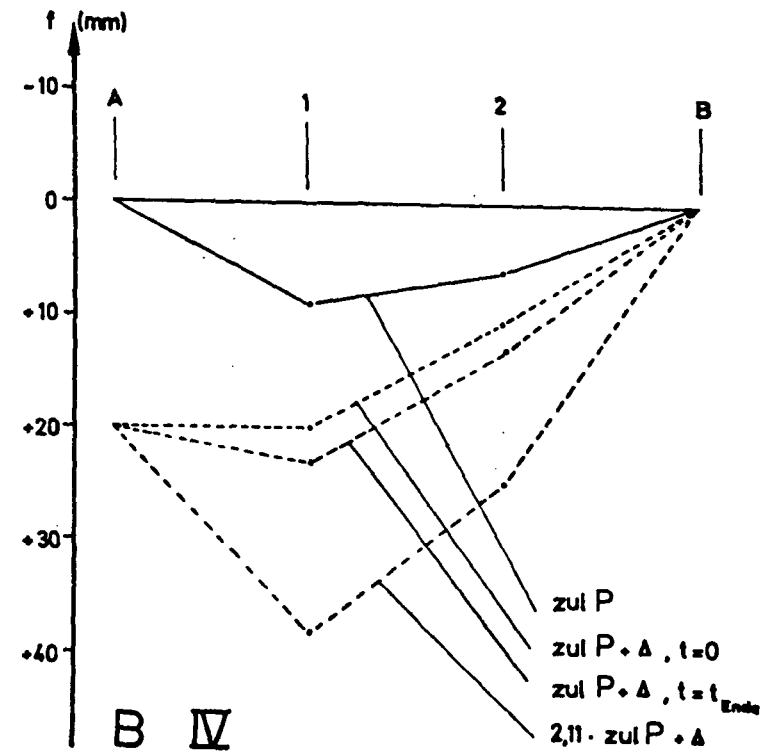
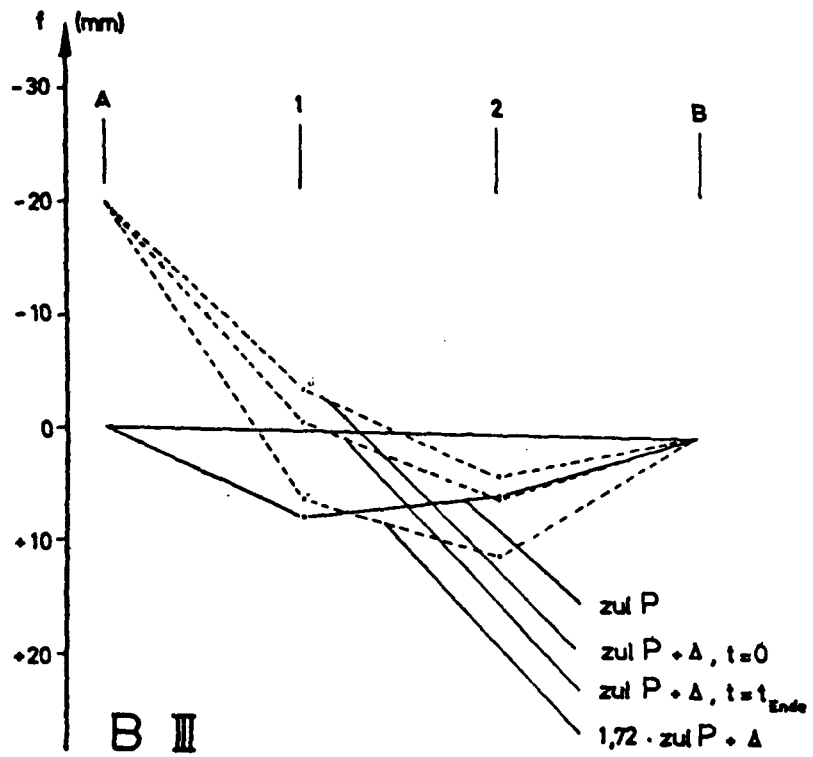


Bild 6,121: Durchbiegungen von B III und B IV

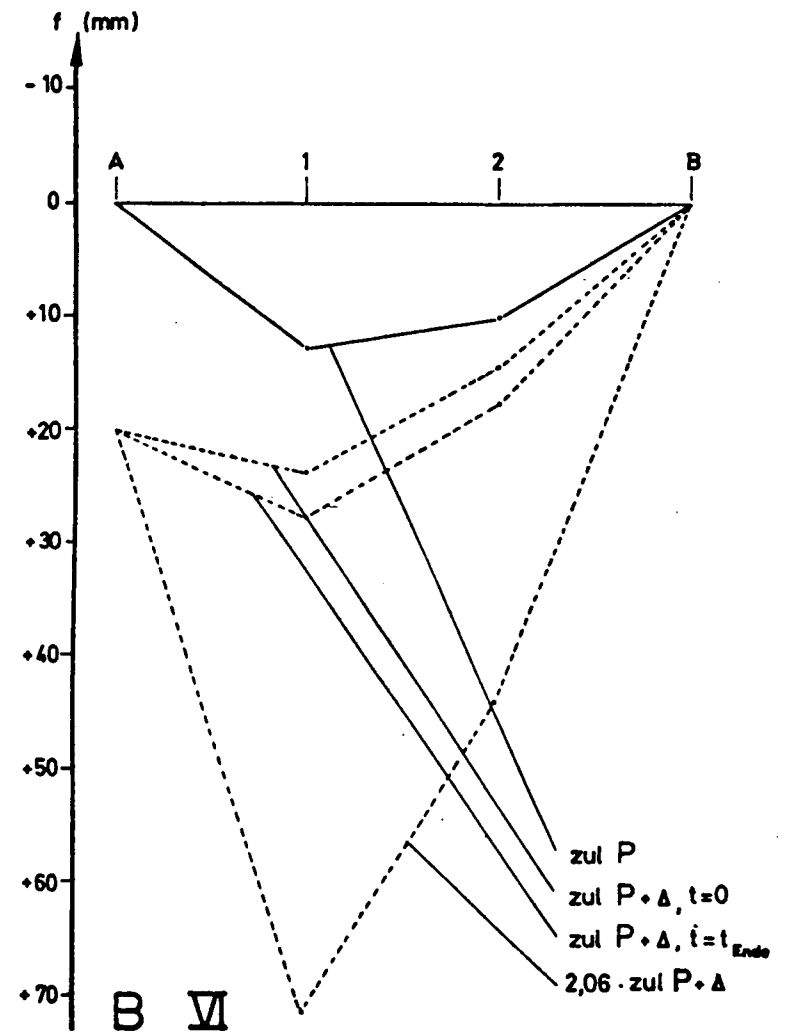
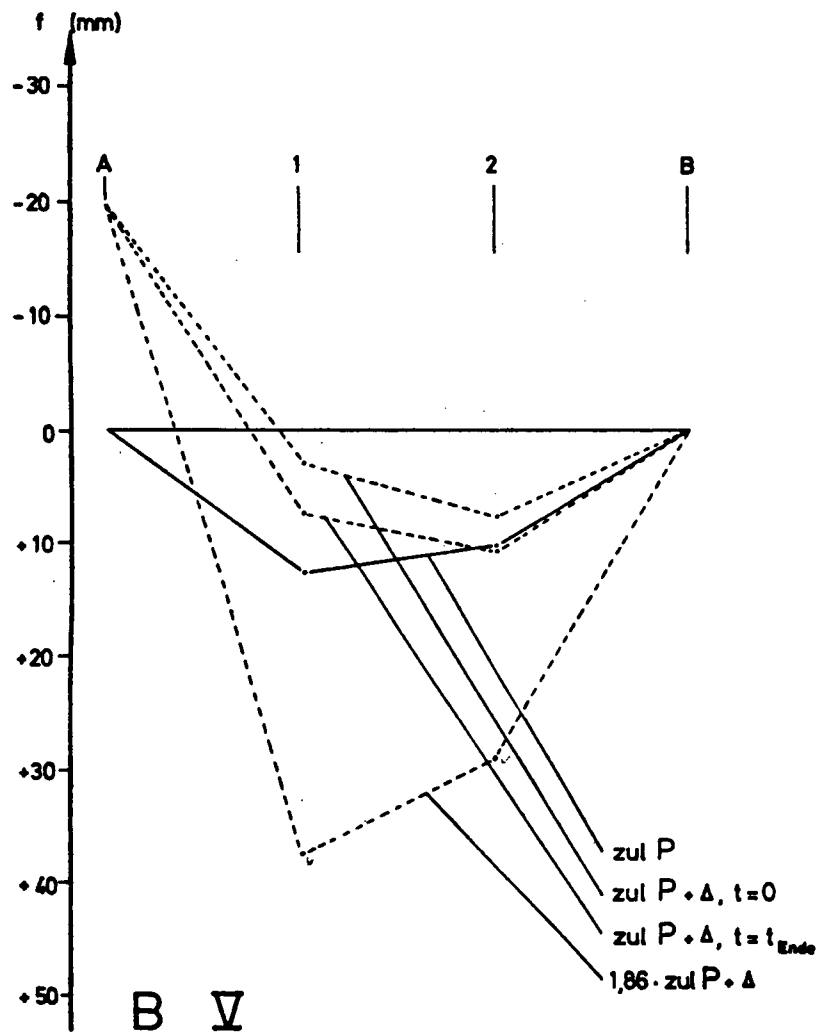


Bild 6.122: Durchbiegungen von B V und B VI

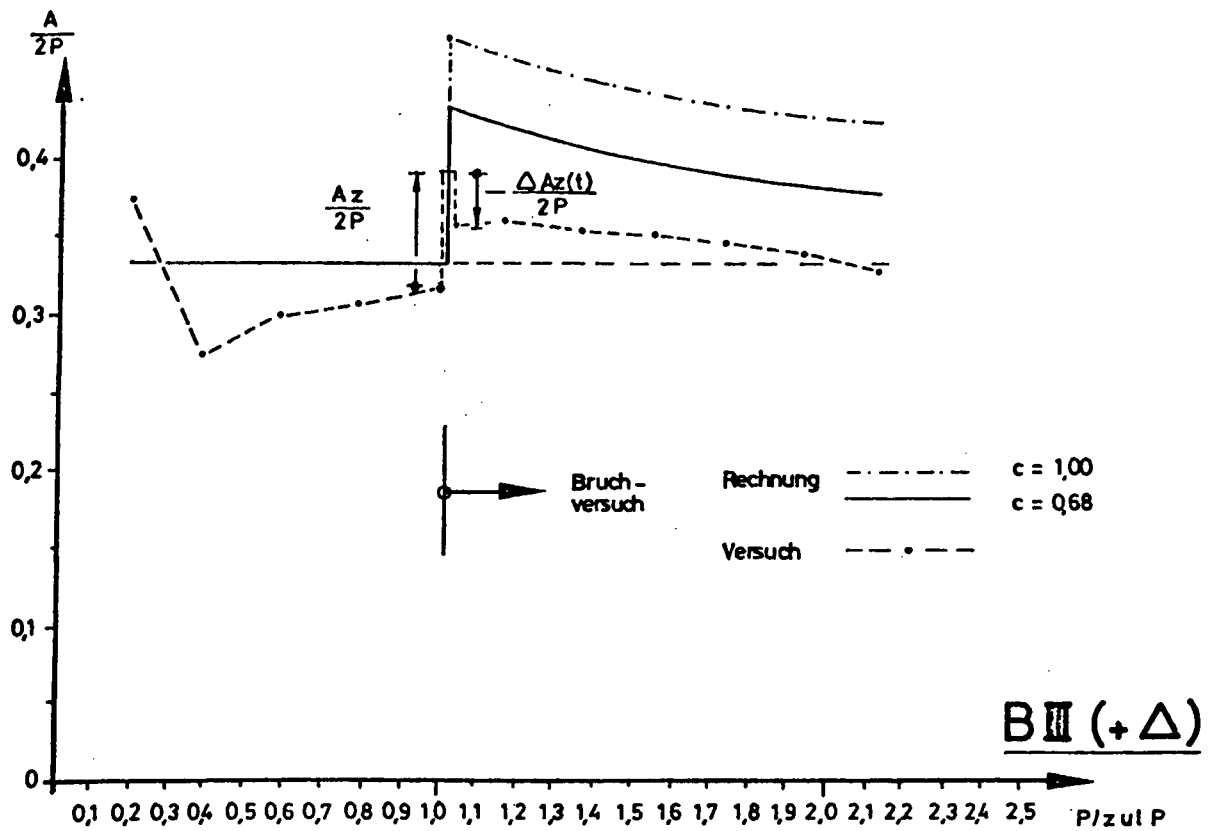


Bild 7.1: Bezogene Auflagerkraft von BIII abhängig von der Last

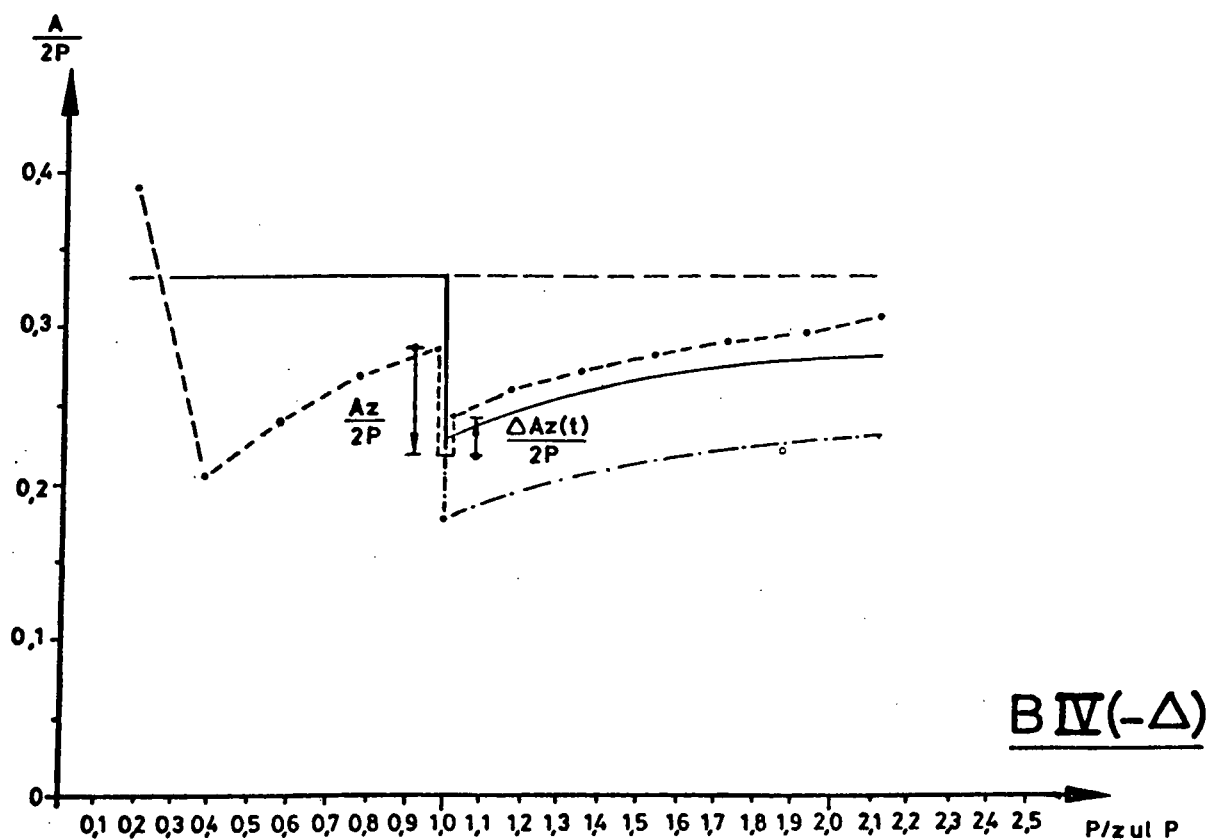


Bild 7.2: Bezogene Auflagerkraft von BIV abhängig von der Last

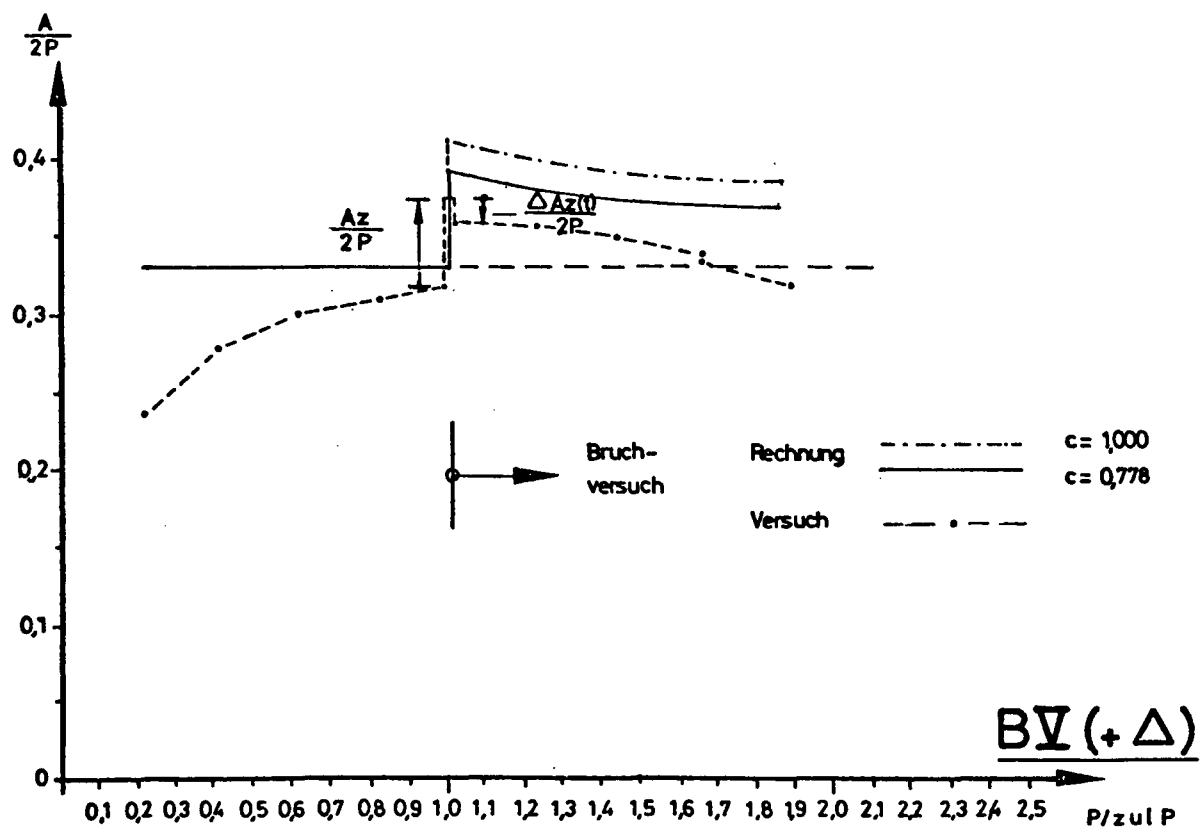


Bild 7.3: Bezogene Auflagerkraft von BV abhängig von der Last

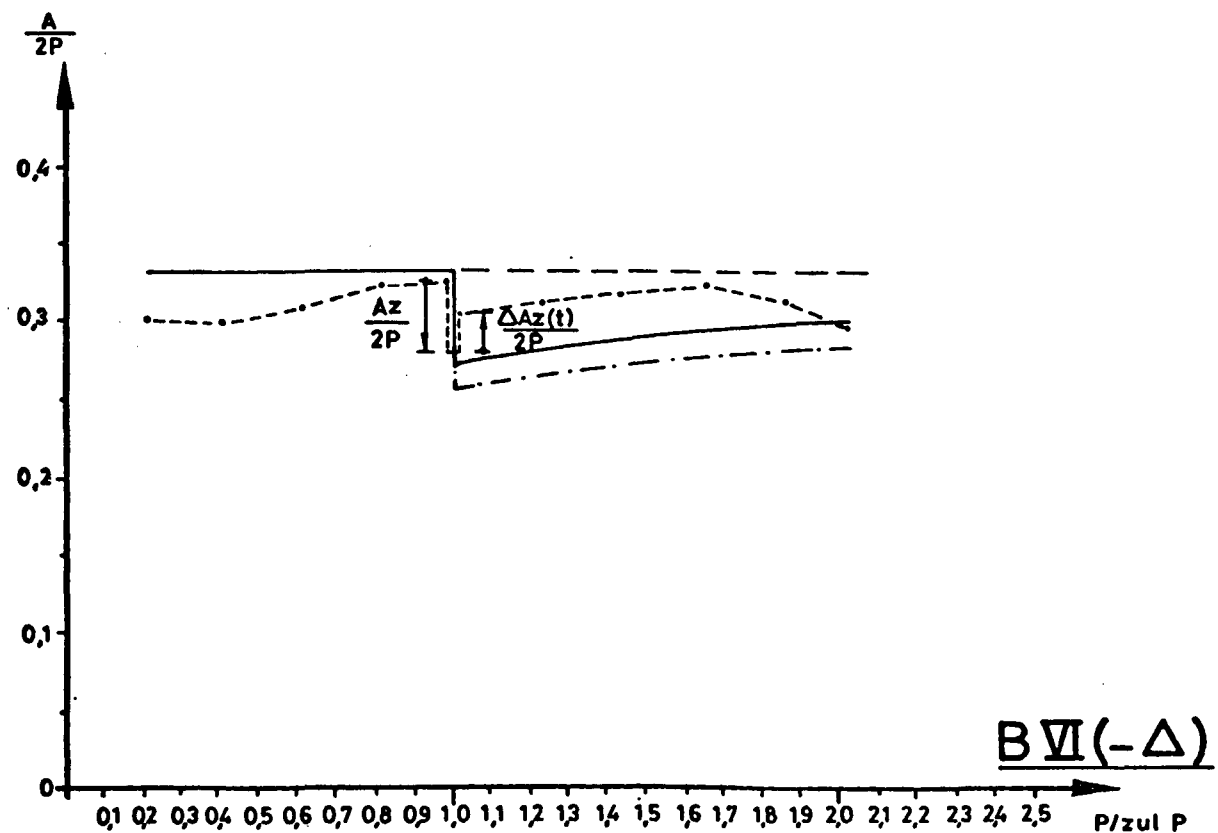


Bild 7.4: Bezogene Auflagerkraft von BVI abhängig von der Last

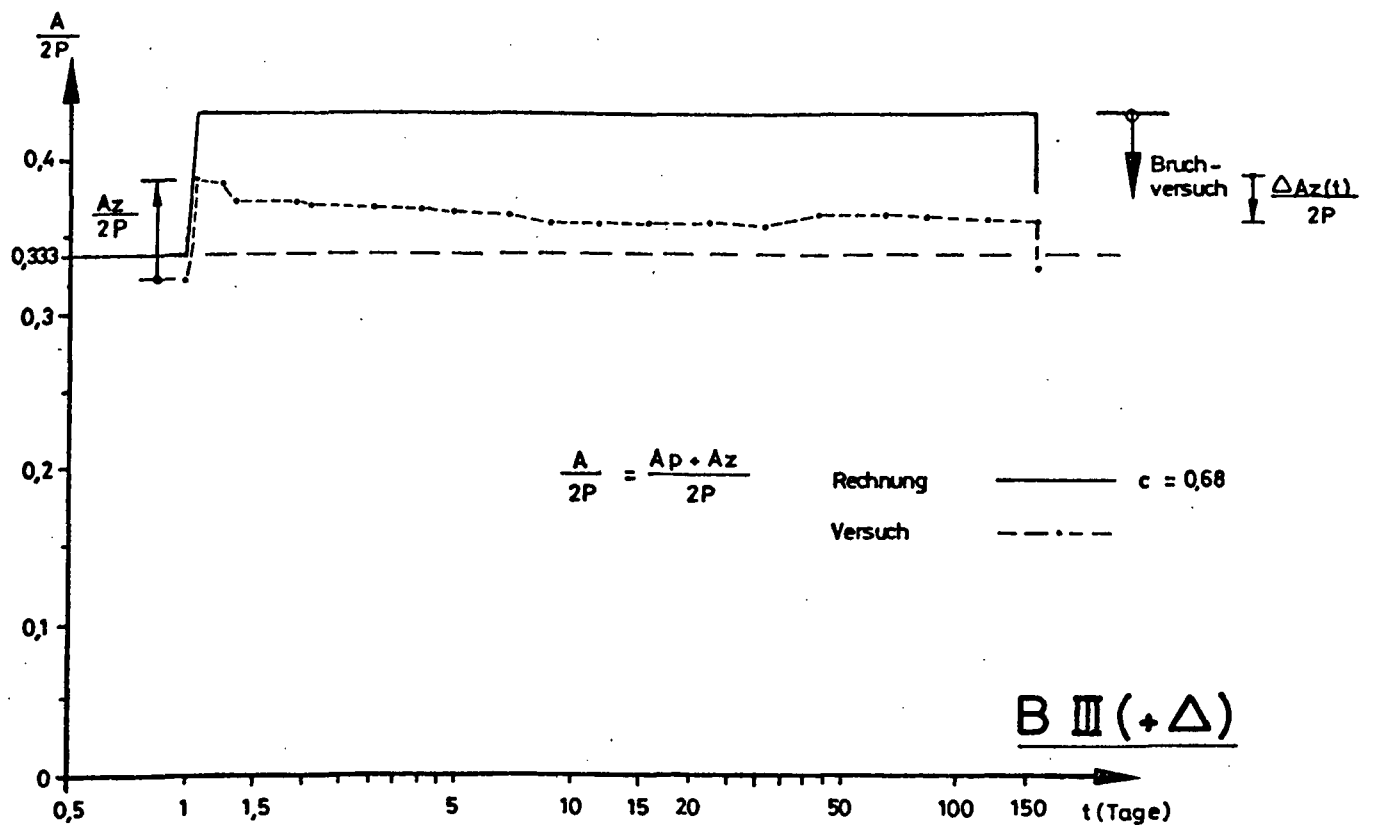


Bild 7.5: Bezogene Auflagerkraft von BIII abhängig von der Zeit

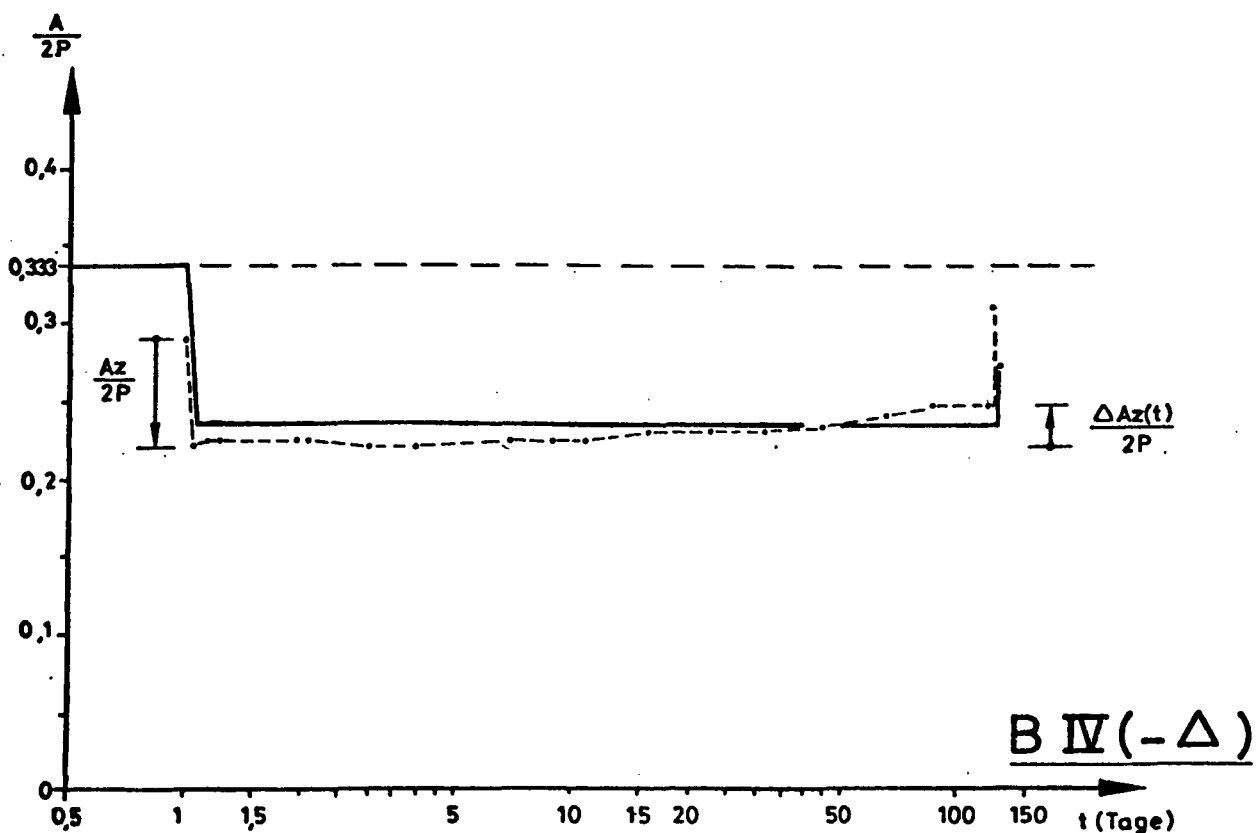


Bild 7.6: Bezogene Auflagerkraft von BIV abhängig von der Zeit

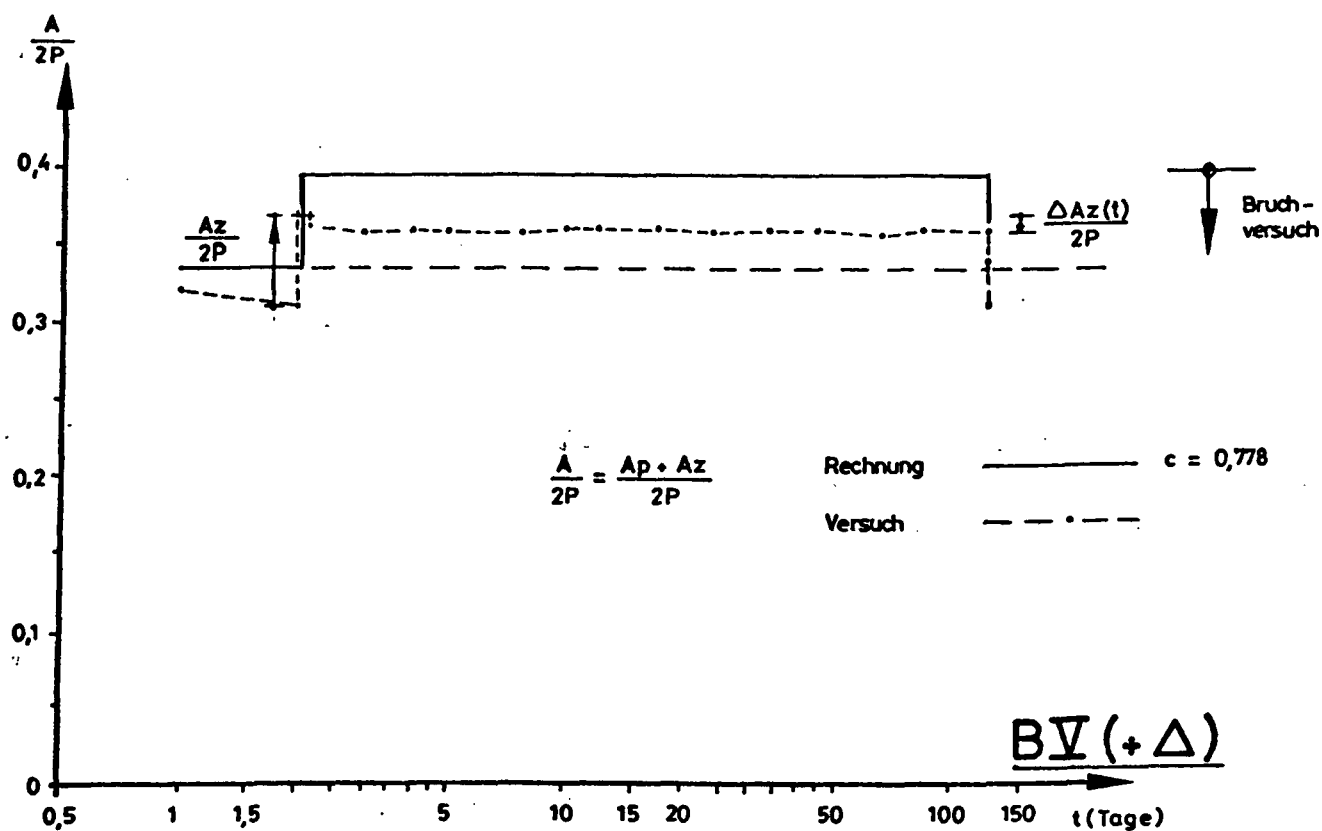


Bild 7.7: Bezogene Auflagerkraft von BV abhängig von der Zeit

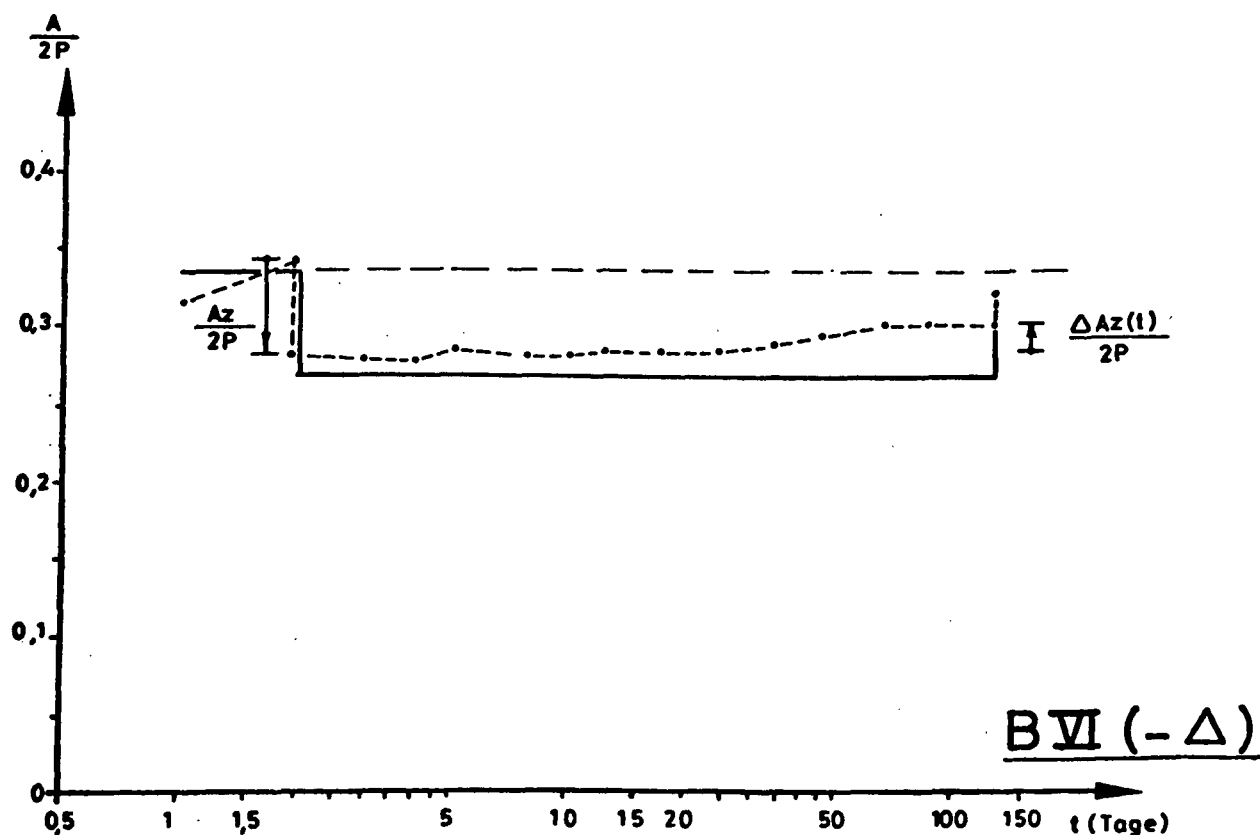


Bild 7.8: Bezogene Auflagerkraft von BVI abhängig von der Zeit

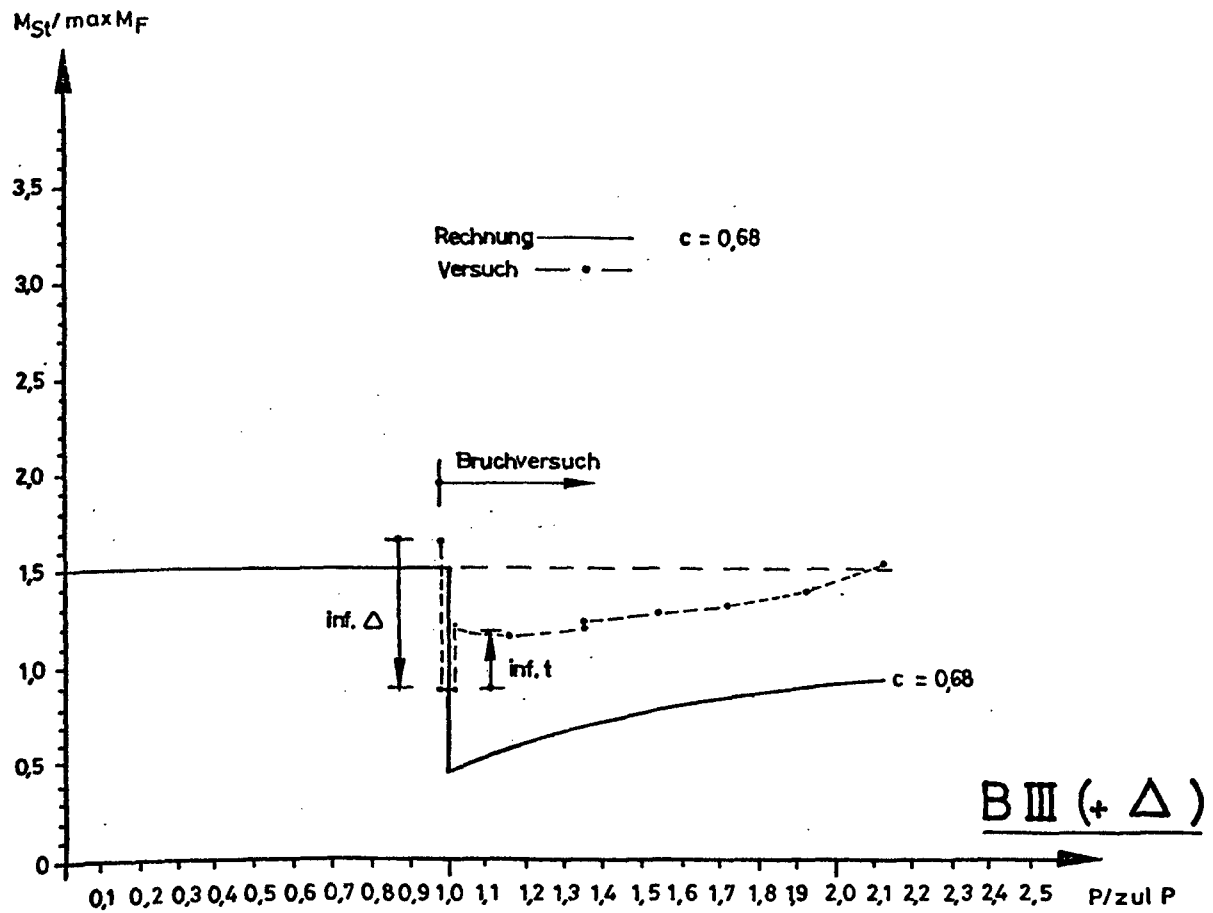


Bild 7.9: Verhältnis $M_{St}/\max M_F$ von BIII abhängig von der Last

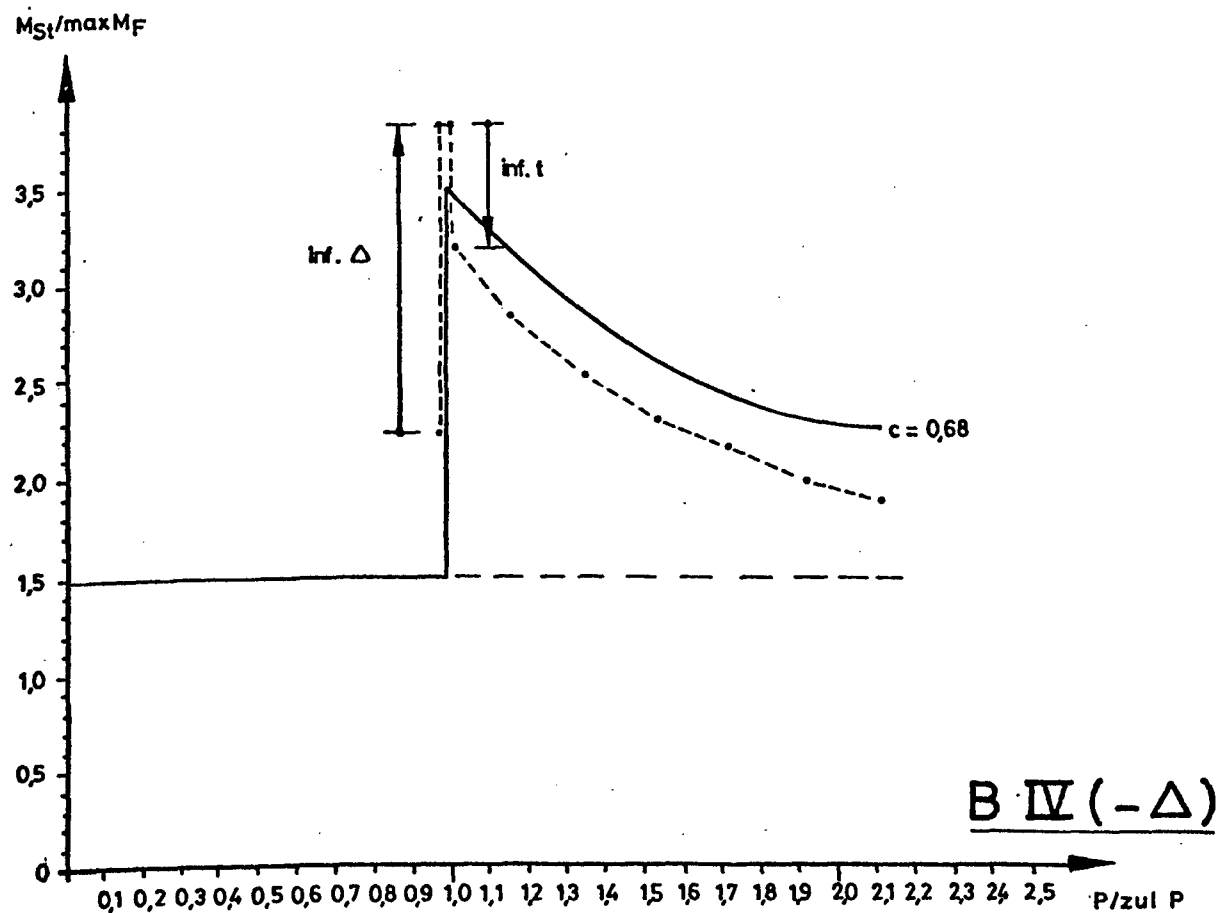


Bild 7.10: Verhältnis $M_{St}/\max M_F$ von BIV abhängig von der Last

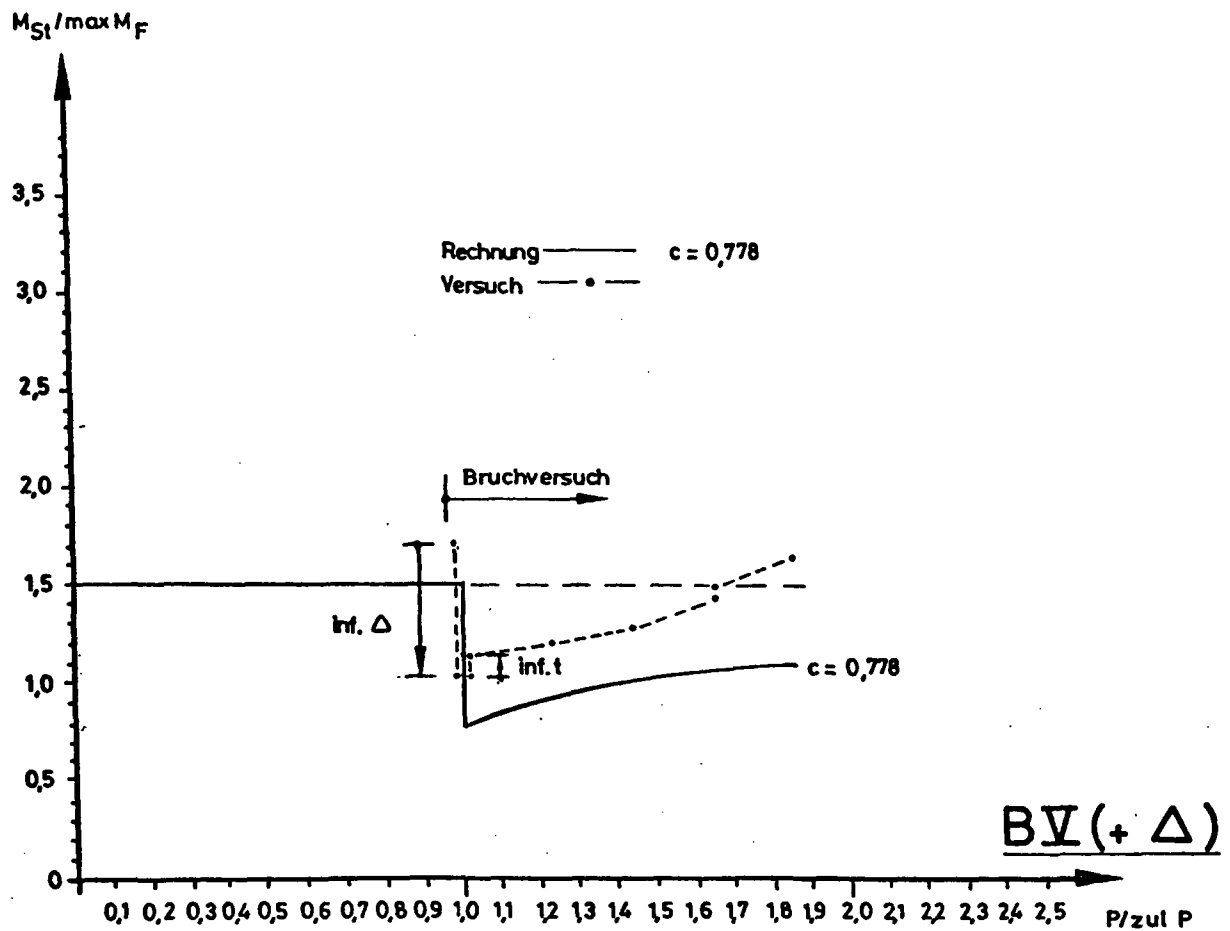


Bild 7.11: Verhältnis $M_{St}/\max M_F$ von BV abhängig von der Last

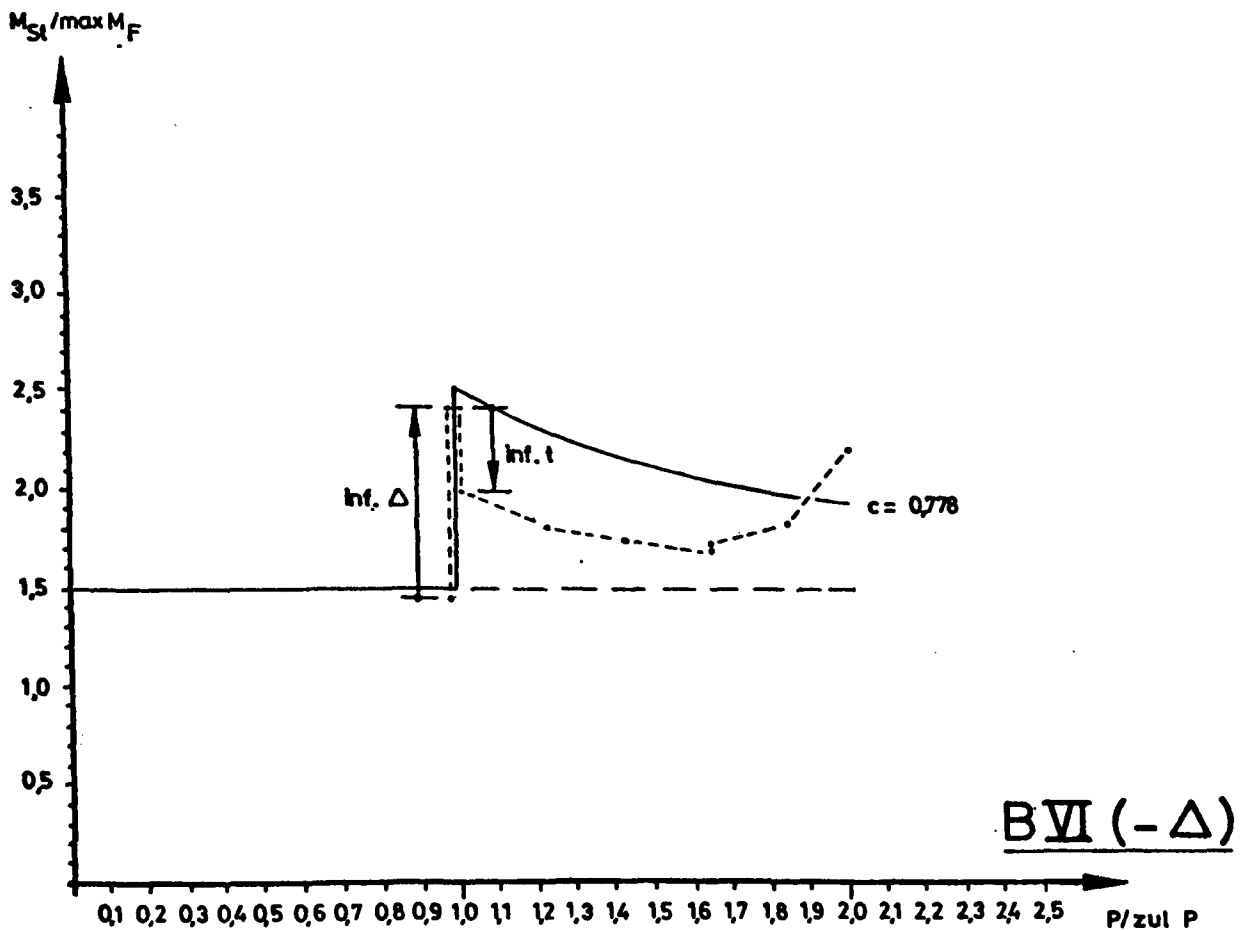


Bild 7.12: Verhältnis $M_{St}/\max M_F$ von BVI abhängig von der Last

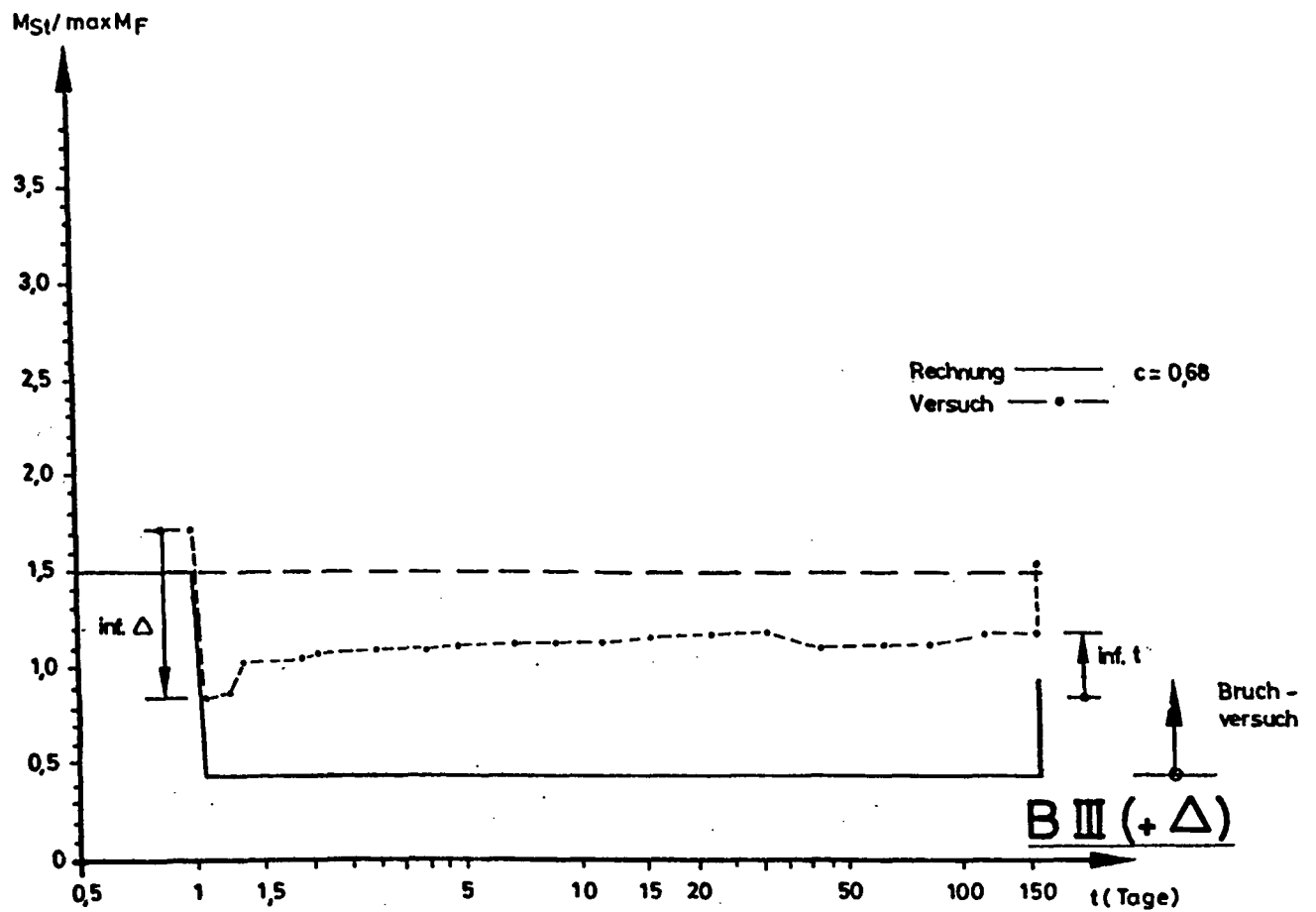


Bild 7.13: Verhältnis $M_{St}/\max M_F$ von BIII abhängig von der Zeit

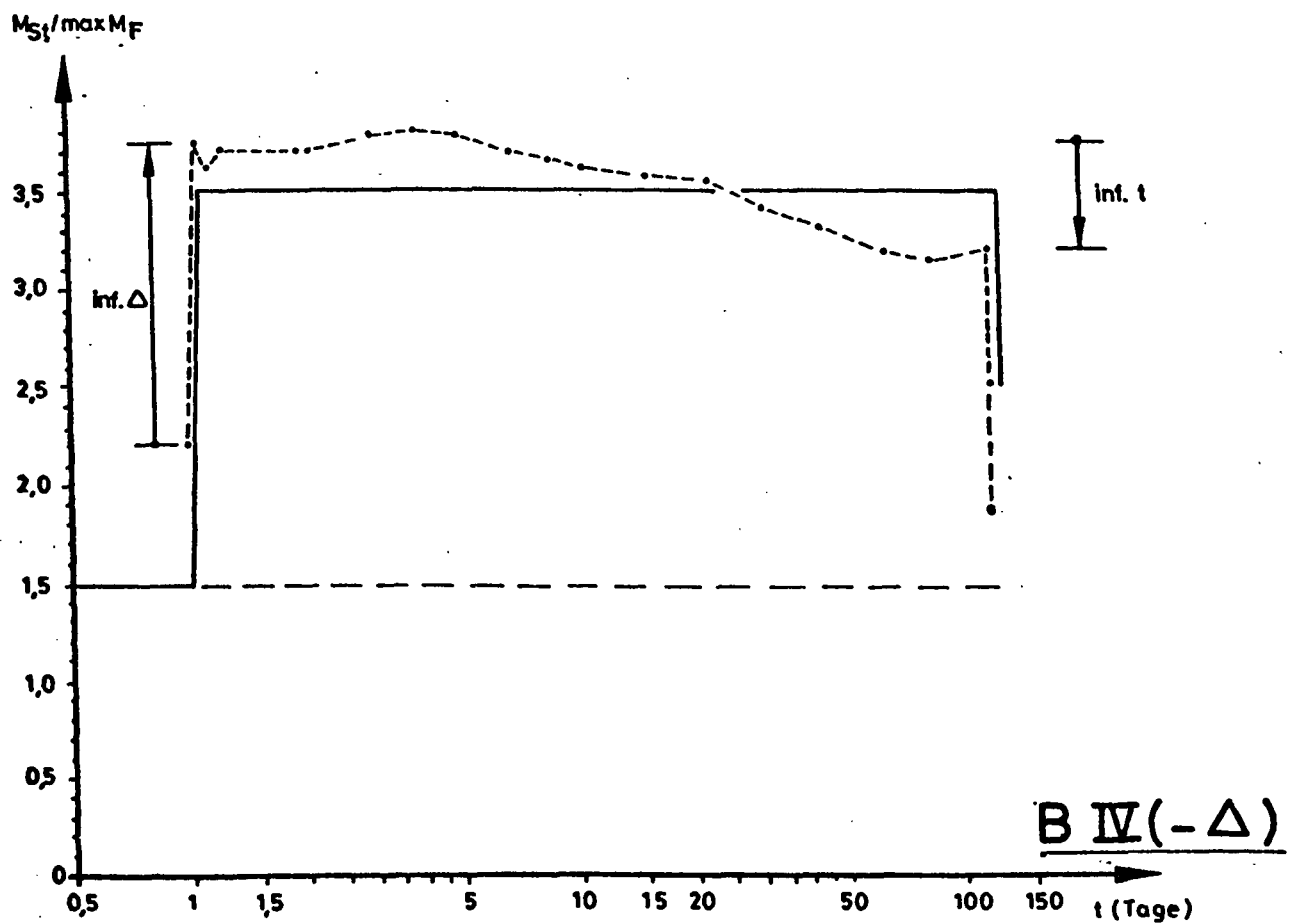


Bild 7.14: Verhältnis $M_{St}/\max M_F$ von BIV abhängig von der Zeit

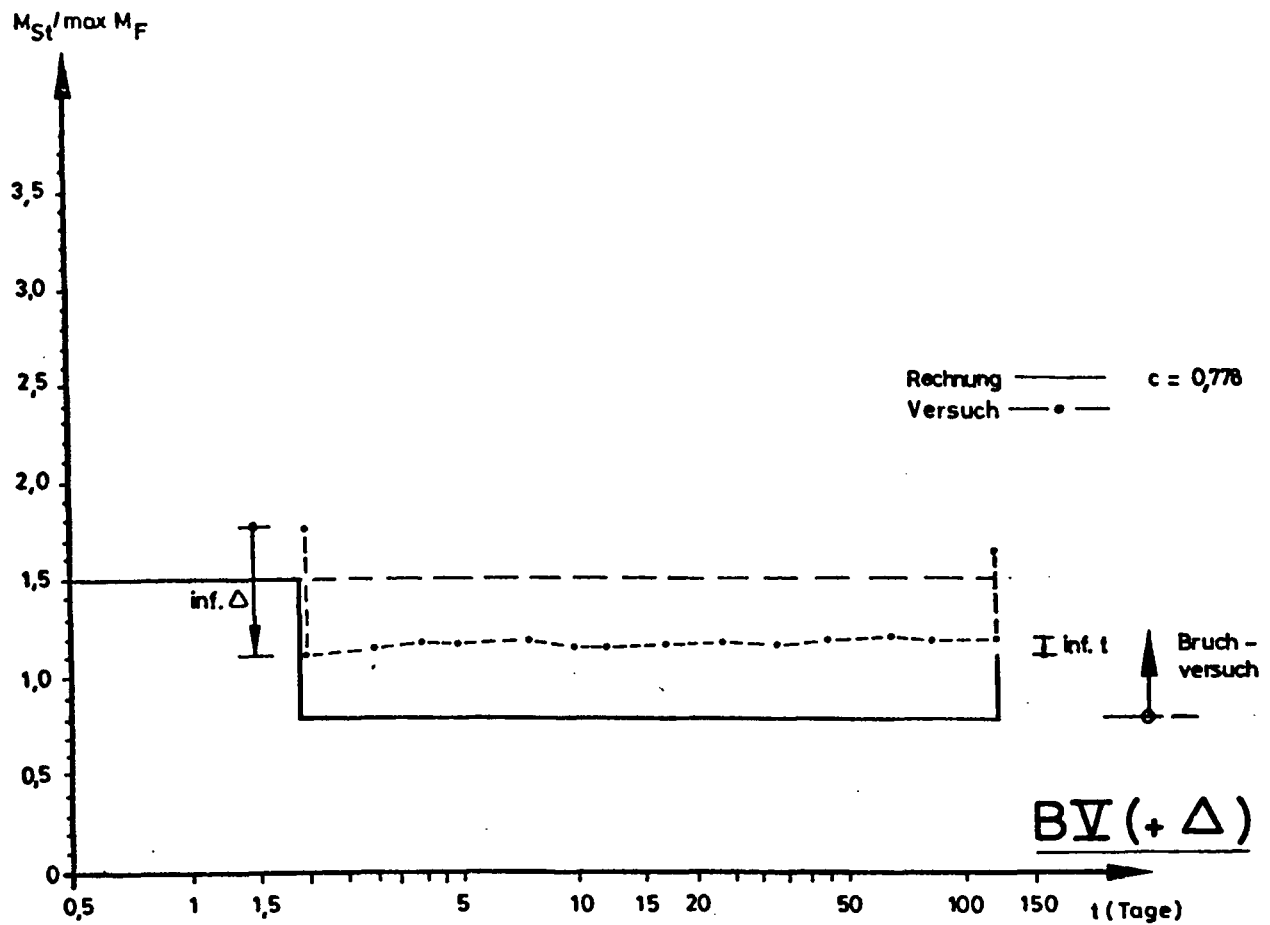


Bild 7.15: Verhältnis $M_{St} / \max M_F$ von BV abhängig von der Zeit

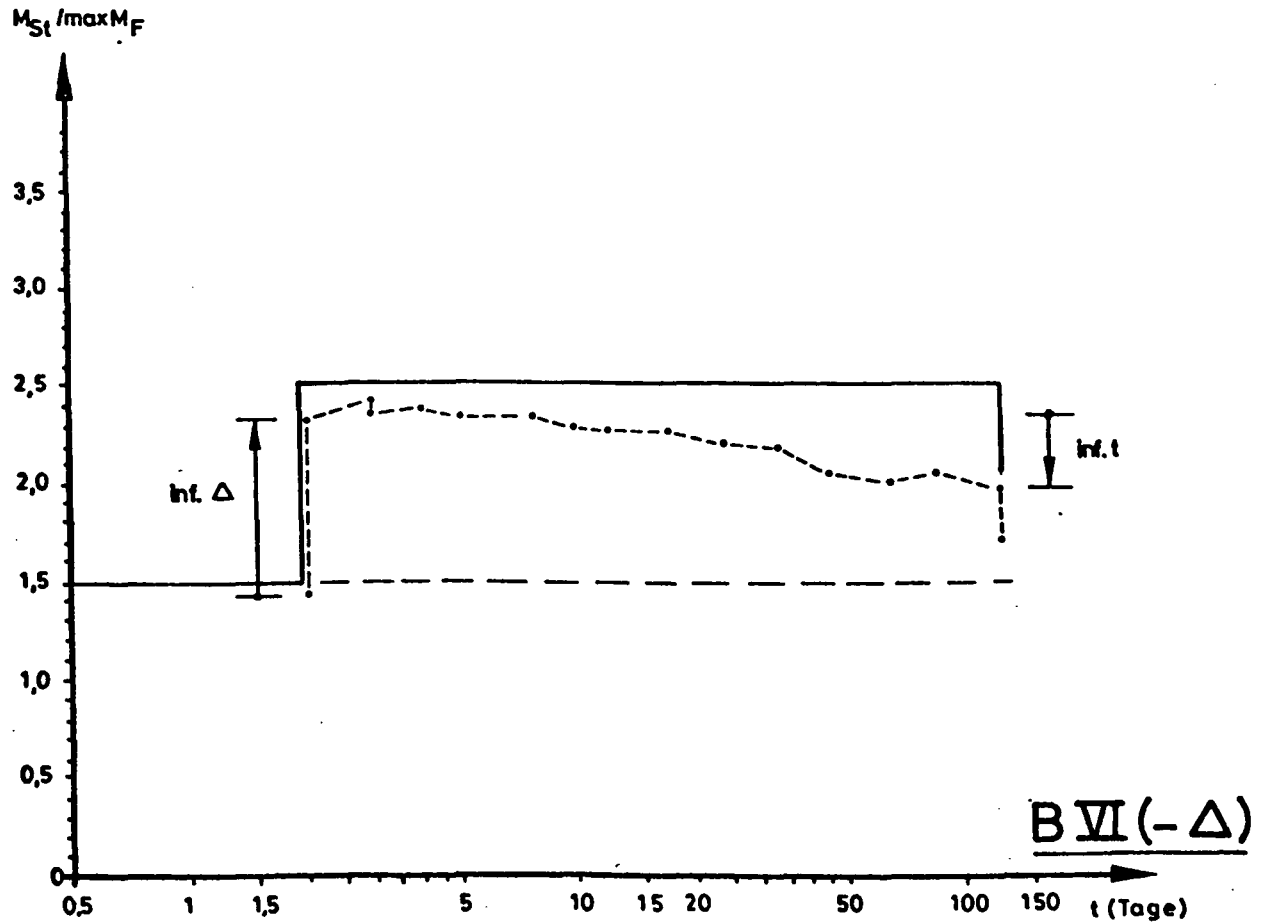


Bild 7.16: Verhältnis $M_{St} / \max M_F$ von BVI abhängig von der Zeit

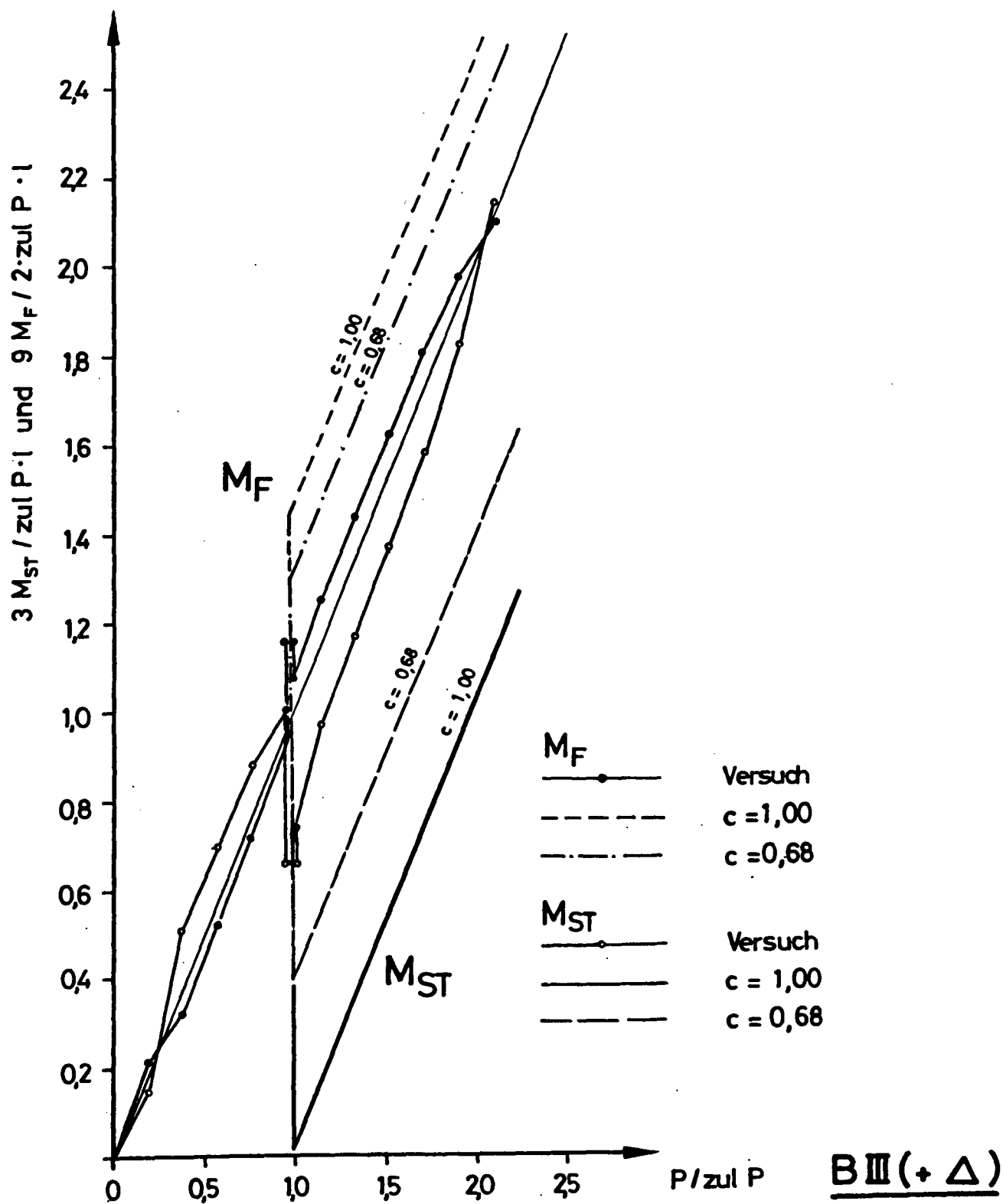


Bild 7.17: Gemessene und gerechnete Verhältnisse M/M_p (E-Theorie) für Versuchskörper BIII

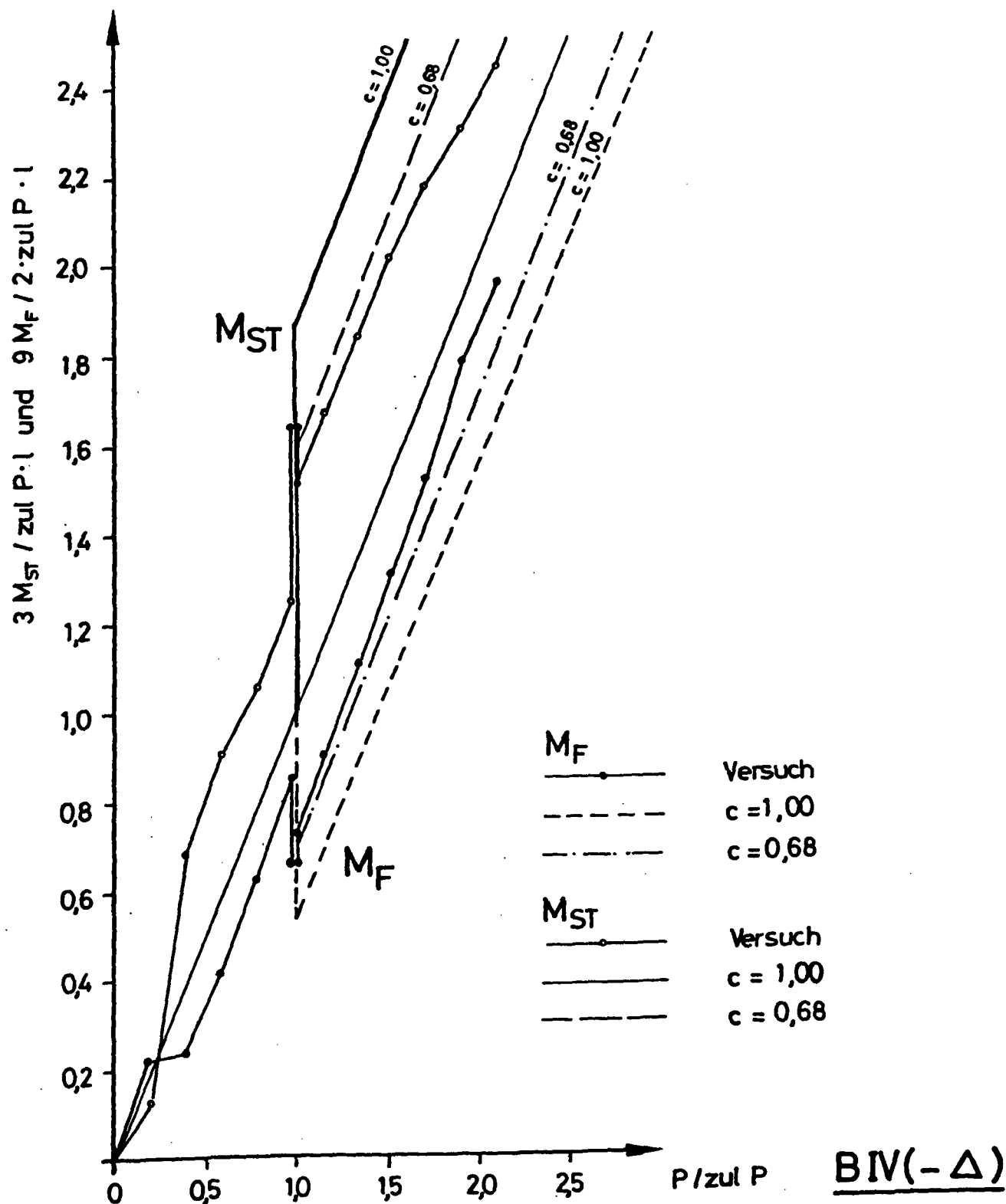


Bild 7.18: Gemessene und gerechnete Verhältnisse M/M_p (E-Theorie) für Versuchskörper BIV

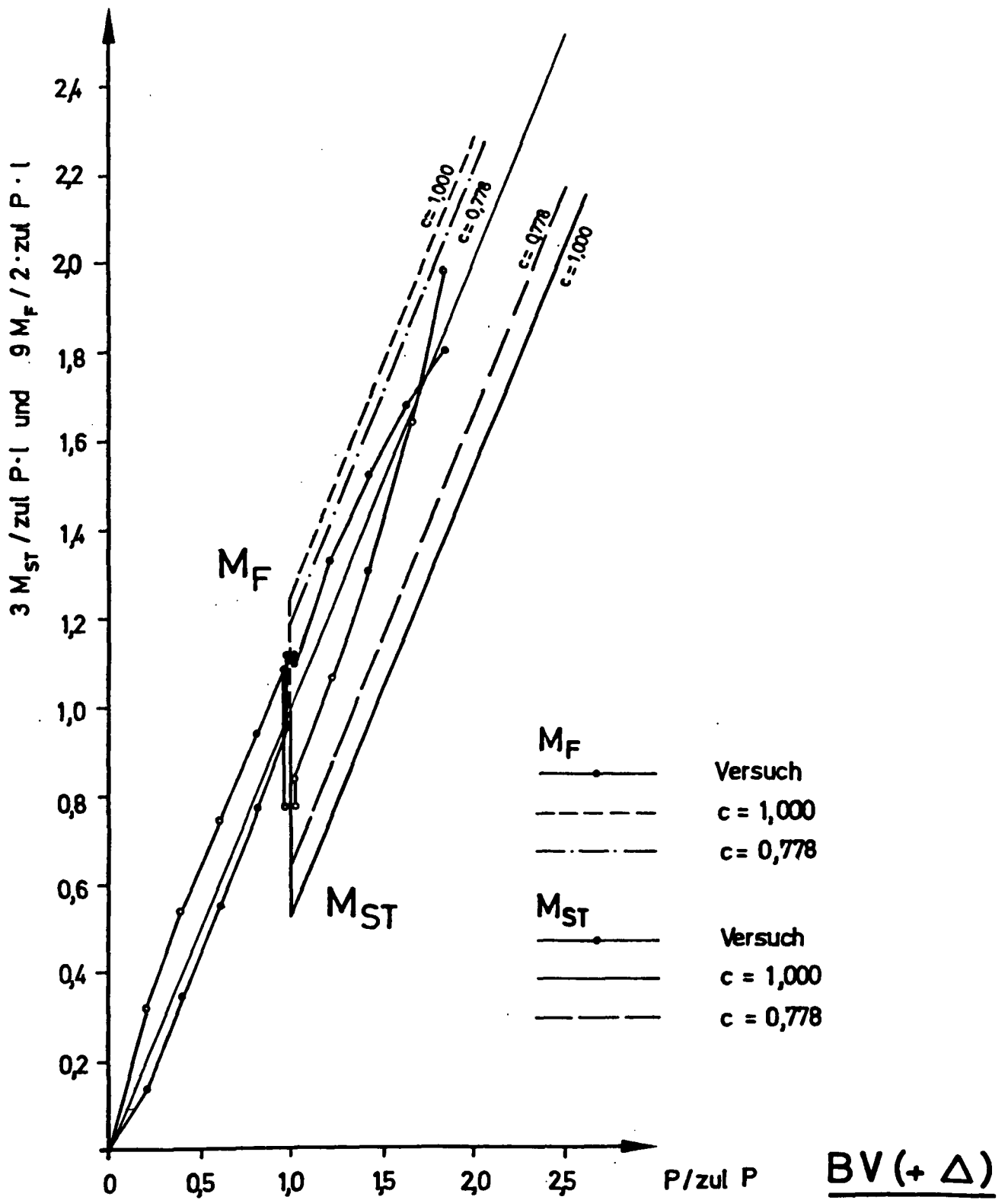


Bild 7.19: Gemessene und gerechnete Verhältnisse M/M_p (E-Theorie) für Versuchskörper BV

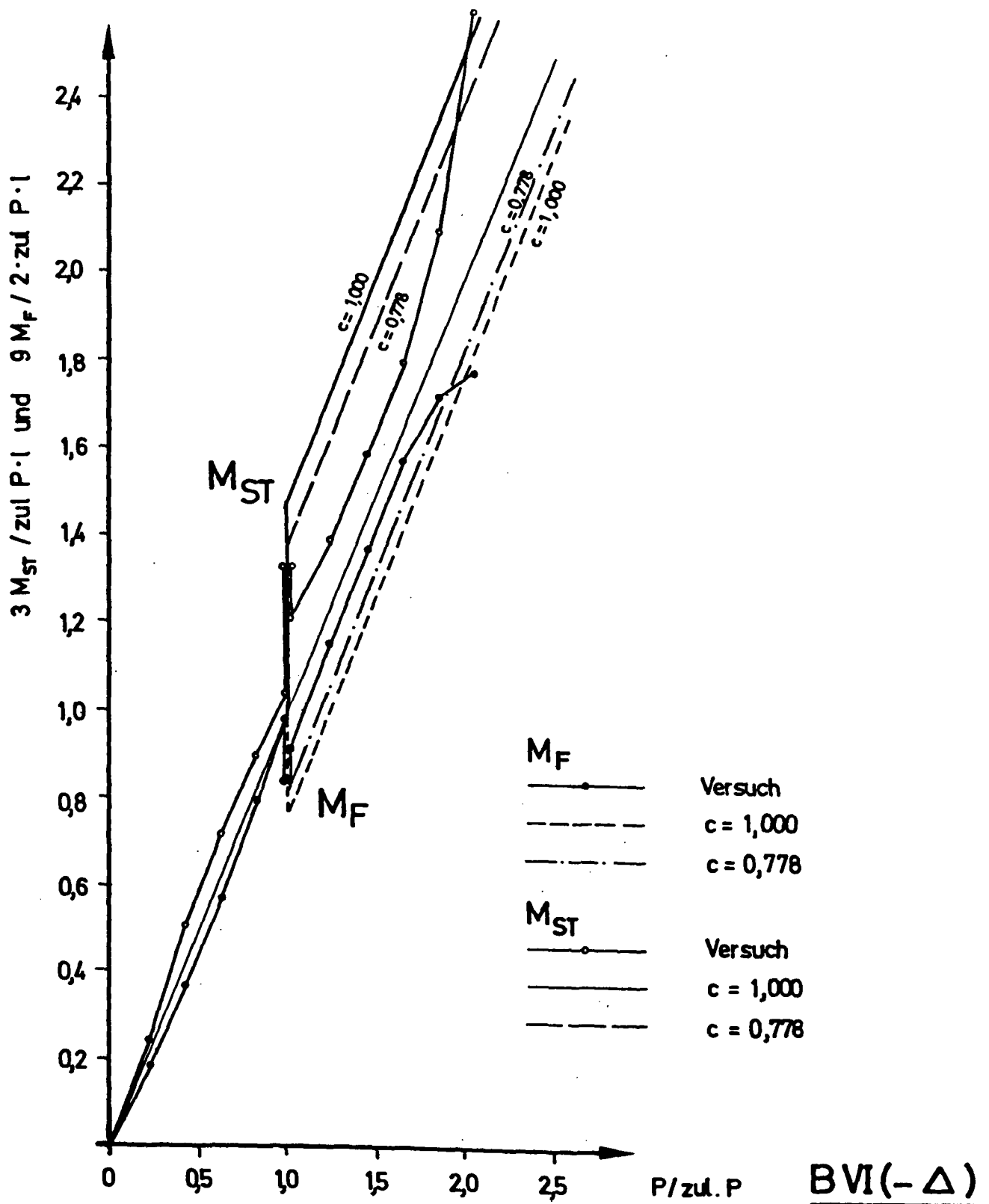


Bild 7.20: Gemessene und gerechnete Verhältnisse M/M_P (E-Theorie) für Versuchskörper BVI

LST	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	10	20	30	40	51,700	51,700	51,700	51,700	51,7+Δ	51,7+Δ
P/Pu	0,083	0,167	0,250	0,333	0,425	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431
A _V	7,460	11,140	18,000	24,800	32,900	33,100	32,940	32,740	40,280	40,040
A _V /2P	0,373	0,278	0,300	0,310	0,322	0,320	0,318	0,317	0,390	0,387
A _R	6,670	13,330	20,000	26,670	34,000	34,470	34,470	34,670	44,910	44,910
A _R /2P	0,334	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,434	0,434
M _{ST(V)}	-12,700	-44,300	-60,000	-76,000	-90,500	-93,000	-93,800	-94,800	-57,100	-58,300
max M _{F(V)}	+12,430	+18,570	+30,000	+41,330	+54,830	+55,170	+54,900	+54,570	+67,130	+66,730
M _{ST(R)}	-16,670	-33,330	-50,000	-66,670	-85,000	-86,170	86,170	-86,170	-33,940	-33,940
max M _{F(R)}	+11,110	+22,220	+33,330	+44,440	+56,670	+57,440	+57,440	+57,440	+74,850	+74,850
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	- 1,022	- 2,386	- 2,000	- 1,839	- 1,650	- 1,686	- 1,708	-1,737	- 0,850	- 0,874
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	- 1,500	- 1,500	- 1,500	- 1,500	- 1,500	- 1,500	- 1,500	-1,500	- 0,453	- 0,453
C _(V)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,524	0,503
C _(R)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,680	0,680

Tab. 7.1a : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ
P/Pu	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431
A _v	38,660	38,520	38,440	38,160	38,100	37,740	37,660	37,520	37,50	37,320
A _v /2P	0,374	0,373	0,372	0,369	0,368	0,365	0,364	0,363	0,363	0,361
A _R	44,910	44,910	44,910	44,910	44,910	44,910	44,910	44,910	44,910	44,910
A _R /2P	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434
M _{ST(V)}	-65,200	-65,900	-66,300	-67,700	-68,000	-69,800	-70,200	-70,900	-71,000	-71,900
max M _{F(V)}	+64,430	+64,200	+64,070	+63,600	+63,500	+62,900	+62,770	+62,530	+62,500	+62,200
M _{ST(R)}	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940
max M _{F(R)}	+74,840	+74,850	+74,850	+74,850	+74,850	+74,850	+74,850	+74,850	+74,850	+74,850
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	- 1,012	- 1,026	- 1,035	- 1,064	- 1,071	- 1,110	- 1,118	- 1,134	- 1,136	- 1,156
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	- 0,453	- 0,453	- 0,453	- 0,453	- 0,453	- 0,453	- 0,453	- 0,453	- 0,453	- 0,453
C _(V)	0,378	0,366	0,359	0,333	0,328	0,295	0,288	0,276	0,274	0,258
C _(R)	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680

Tab. 7.1b : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	51,7+Δ	60	70	70
P/Pu	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,500	0,583	0,583
A _v	37,200	37,060	37,780	37,640	37,640	37,080	37,060	43,240	49,800	49,700
A _v /2P	0,360	0,358	0,365	0,364	0,364	0,359	0,358	0,360	0,356	0,355
A _R	44,910	44,910	44,910	44,910	44,910	44,910	44,910	50,440	57,110	57,110
A _R /2P	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,420	0,408	0,408
M _{ST(V)}	-72,500	-73,200	-69,600	-70,300	-70,300	-73,100	-73,200	-83,800	-101,000	-101,500
max M _{F(V)}	+62,000	+61,770	+62,970	+62,730	+62,730	+61,800	+61,770	+72,070	+ 83,000	+ 82,830
M _{ST(R)}	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940	-33,940	-47,780	- 64,440	- 64,440
max M _{F(R)}	+74,850	+74,850	+74,850	+74,850	+74,850	+74,850	+74,850	+84,070	+ 95,190	+ 95,190
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	- 1,169	- 1,185	- 1,105	- 1,121	- 1,121	- 1,183	- 1,195	- 1,163	- 1,217	- 1,225
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	- 0,453	- 0,453	- 0,435	- 0,453	- 0,453	- 0,453	- 0,453	- 0,568	- 0,677	- 0,677
C _(V)	0,247	0,234	0,299	0,286	0,286	0,236	0,234	0,292	0,283	0,274
C _(R)	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680

LST	31	32	33	34
P	80	80	100	110
P/Pu	0,667	0,750	0,833	0,917
A _V	56,320	62,660	68,480	72,800
A _V /2P	0,352	0,348	0,342	0,331
A _R	63,780	70,450	77,110	83,780
A _R /2P	0,399	0,391	0,386	0,381
M _{ST(V)}	-118,400	-136,700	-157,600	-186,000
max M _{F(V)}	+ 93,870	+104,430	+114,130	+121,330
M _{ST(R)}	- 81,110	- 97,780	-114,440	-131,110
max M _{F(R)}	+106,300	+117,410	+128,520	+139,630
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	- 1,261	- 1,309	- 1,381	- 1,533
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	- 0,763	- 0,833	0,890	- 0,939
C _(V)	0,268	0,240	0,164	0,049
C _(R)	0,680	0,680	0,680	0,680

Tab. 7.1 d : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	10	20	30	40	51	51	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ
P/Pu	0,0833	0,166	0,250	0,333	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425
A _V	7,780	8,200	14,300	21,780	29,400	29,480	22,660	23,080	22,860	22,840
A _V /2P	0,389	0,205	0,238	0,272	0,288	0,289	0,222	0,226	0,224	0,224
A _R	6,670	13,330	20,000	26,660	34,000	34,000	23,560	23,560	23,560	23,560
A _R /2P	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,231	0,231	0,231	0,231
M _{ST(V)}	-11,110	-59,000	-78,500	-91,100	-108,000	-107,600	-141,700	-139,600	-140,700	-140,800
max M _{F(V)}	+12,970	+13,670	+23,830	+36,300	+ 49,000	+ 49,130	+ 37,770	+ 38,470	+ 38,100	+ 38,070
M _{ST(R)}	-16,670	-33,330	-50,000	-66,670	- 85,000	- 85,000	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200
max M _{F(R)}	+11,110	+22,220	+33,330	+44,440	+ 56,670	+ 56,670	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	- 0,856	-4,316	- 3,294	- 2,510	- 2,204	- 2,190	- 3,752	- 3,629	- 3,693	- 3,700
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	- 1,500	-1,500	- 1,500	- 1,500	- 1,500	- 1,500	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495
C _(V)	-	-	-	-	-	-	0,888	0,855	0,871	0,873
C _(R)	-	-	-	-	-	-	0,680	0,680	0,680	0,680

Tab. 7.2a : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ
P/Pu	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425
A _V	22,820	22,580	22,440	22,460	22,540	22,800	22,900	23,100	23,260	23,320
A _V /2P	0,224	0,221	0,220	0,220	0,221	0,224	0,224	0,226	0,228	0,229
A _R	23,560	23,560	23,560	23,560	23,560	23,560	23,560	23,560	23,560	23,560
A _R /2P	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231
M _{ST(V)}	-140,900	-142,100	-142,800	-142,700	-142,300	-141,000	-140,500	-139,500	-138,700	-138,400
max M _{F(V)}	+ 38,030	+ 37,630	+ 37,400	+ 37,430	+ 37,570	+ 38,000	+ 38,170	+ 38,500	+ 38,770	+ 38,870
M _{ST(R)}	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200
max M _{F(R)}	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	- 3,705	- 3,776	- 3,818	- 3,812	- 3,788	- 3,710	- 3,681	- 3,623	- 3,578	- 3,560
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495
C _(V)	0,875	0,894	0,904	0,903	0,706	0,887	0,869	0,853	0,840	0,836
C _(R)	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680

Tab. 7.2b : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ	51+Δ	60+Δ	70+Δ	70+Δ	80+Δ
P/Pu	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,500	0,583	0,583	0,666
A _V	23,520	23,800	24,200	24,700	24,880	25,000	31,080	38,160	38,220	45,200
A _V /2P	0,230	0,233	0,237	0,242	0,244	0,245	0,259	0,272	0,273	0,282
A _R	23,560	23,560	23,560	23,560	23,560	23,560	29,560	36,220	36,220	42,890
A _R /2P	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231	0,246	0,259	0,259	0,268
M _{ST(V)}	-137,400	-136,000	-134,000	-131,500	-130,600	-130,000	-144,600	-159,200	-158,900	-174,000
max M _{F(V)}	+ 39,200	+ 39,670	+ 40,330	+ 41,170	+ 41,470	+ 41,670	+ 51,800	+63,600	+63,700	+ 75,330
M _{ST(R)}	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200	-137,200	-152,200	-168,700	-168,700	-185,300
max M _{F(R)}	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 39,260	+ 49,260	+ 60,370	+ 60,370	+ 71,480
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	- 3,505	- 3,428	- 3,322	- 3,194	- 3,194	- 3,200	- 2,792	- 2,503	- 2,494	- 2,309
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,495	- 3,090	- 2,797	- 2,797	- 2,596
C _(V)	0,820	0,798	0,767	0,728	0,711	0,705	0,698	0,665	0,661	0,637
C _(R)	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680

Tab. 7.2c : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	31	32	33
P	90+Δ	100+Δ	110+Δ
P/P _u	0,750	0,833	0,917
A _V	52,400	60,180	67,820
A _V /2P	0,291	0,301	0,308
A _R	49,550	56,220	62,890
A _R /2P	0,275	0,281	0,286
M _{ST(V)}	-188,000	-199,100	- 21,090
max M _{F(V)}	+ 87,330	+100,300	+113,030
M _{ST(R)}	-202,000	-218,700	-235,300
max M _{F(R)}	+ 82,590	+ 93,700	+104,810
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	- 2,153	- 1,985	- 1,866
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	- 2,448	- 2,336	- 2,247
C _(V)	0,595	0,507	0,432
C _(R)	0,680	0,680	0,680

Tab. 7.2d : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	20	40	60	80	97	97	97	97+Δ	97+Δ	97+Δ
P/Pu	0,1	0,2	0,3	0,4	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485
A _V	9,38	22,54	35,96	49,76	61,74	61,20	62,06	71,92	71,38	71,36
A _V /2P	0,234	0,282	0,300	0,311	0,318	0,315	0,320	0,371	0,368	0,368
A _R	13,33	26,67	40,00	53,33	64,67	64,67	64,67	76,61	76,61	76,61
A _R /2P	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,395	0,395	0,395
M _{ST(V)}	-53,10	-87,30	-120,20	-151,20	-176,30	-179,00	-174,7	-125,40	-128,10	-128,20
max M _{F(V)}	+15,63	+37,57	+59,93	+82,93	+102,90	+102,00	+103,43	+119,87	+118,97	+118,93
M _{ST(R)}	-33,33	-66,67	-100,00	-133,33	-161,67	-161,67	-161,67	-101,92	-101,92	-101,92
max M _{F(R)}	+22,22	+44,44	+66,67	+88,89	+107,78	+107,78	+107,78	+127,69	+127,69	+127,69
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	-3,397	-2,323	-2,006	-1,823	-1,713	-1,755	-1,689	-1,046	-1,077	-1,078
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-0,798	-0,798	-0,798
C _(V)	-	-	-	-	-	-	-	0,574	0,532	0,530
C _(R)	-	-	-	-	-	-	-	0,778	0,778	0,778

Tab. 7.3a : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ
P/P_u	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485
A_V	71,26	70,92	69,98	70,12	69,76	69,66	69,42	69,80	69,80	69,66
$A_V/2P$	0,367	0,366	0,361	0,361	0,360	0,359	0,358	0,360	0,360	0,359
A_R	76,61	76,61	76,61	76,61	76,61	76,61	76,61	76,61	76,61	76,61
$A_R/2P$	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395
$M_{ST(V)}$	-128,70	-130,40	-135,10	-134,40	-136,20	-136,70	-137,90	-136,00	-136,0	-136,7
$\max M_F(V)$	+118,77	+118,20	+116,63	+116,87	+116,27	+116,10	+115,70	+116,33	+116,33	+116,10
$M_{ST(R)}$	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92
$\max M_F(R)$	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69
$M_{ST(V)} / \max M_F(V)$	-1,084	-1,103	-1,158	-1,150	-1,171	-1,177	-1,192	-1,169	-1,169	-1,177
$M_{ST(R)} / \max M_F(R)$	-0,798	-0,798	-0,798	-0,798	-0,798	-0,798	-0,798	-0,798	-5,975	-5,975
$C(V)$	0,522	0,495	0,421	0,432	0,403	0,396	0,377	0,407	0,407	0,396
$C(R)$	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778

Tab. 7.3b : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	120+Δ	140+Δ
P/Pu	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,600	0,700
A _V	69,32	69,50	69,36	68,88	69,30	69,24	69,38	70,10	85,64	97,90
A _V /2P	0,357	0,358	0,358	0,355	0,357	0,357	0,358	0,361	0,357	0,350
A _R	76,61	76,61	76,61	76,61	76,61	76,61	76,61	76,61	91,95	105,28
A _R /2P	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,383	0,376
M _{ST(V)}	-138,4	-137,5	-138,2	-140,6	-138,5	-138,8	-138,1	-134,5	-171,8	-210,5
max M _{F(V)}	+115,53	+115,83	+115,60	+114,80	+115,50	+115,40	+115,63	+116,83	+142,73	+163,17
M _{ST(R)}	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-101,92	-140,25	-173,58
max M _{F(R)}	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+127,69	+153,25	+175,47
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	-1,198	-1,187	-1,196	-1,225	-1,199	-1,203	-1,194	-1,151	-1,204	-1,209
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	-5,975	-5,975	-5,975	-5,975	-5,975	-5,975	-5,975	-5,975	-5,975	-5,975
C _(V)	0,369	0,383	0,372	0,334	0,367	0,362	0,373	0,430	0,446	0,361
C _(R)	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778

Tab. 7.3c : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	1	2	3	4	5	7	8	9	11	12
P	20	40	60	80	97	97	97	97	97+Δ	97+Δ
P/Pu	0,1	0,2	0,3	0,4	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485
A _V	12,08	23,64	36,80	51,14	63,34	63,10	61,56	65,50	54,04	54,36
A _V /2P	0,302	0,296	0,307	0,320	0,326	0,325	0,317	0,338	0,278	0,280
A _R	13,33	26,67	40,00	53,33	64,67	64,67	64,67	64,67	52,72	52,72
A _R /2P	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,272	0,272
M _{ST(V)}	-39,6	-81,8	-116,0	-143,3	-168,3	-169,5	-177,2	-157,5	-214,8	-213,2
max M _{F(V)}	+20,13	+34,40	+61,33	+85,23	+105,57	+105,17	+102,60	+109,17	+90,07	+90,60
M _{ST(R)}	-33,33	-66,67	-100,0	-133,33	-161,67	-161,67	-161,67	-161,67	-221,42	-221,42
max M _{F(R)}	+22,22	+44,44	+66,67	+88,89	+107,78	+107,78	+107,78	+107,78	+87,86	+87,86
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	-1,967	-2,076	-1,891	-1,693	-1,594	-1,612	-1,727	-1,443	-2,385	-2,385
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-2,520	-2,520
C _(V)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,846	0,821
C _(R)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,778	0,778

Versuchsbalken B VI

LST	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ
P/Pu	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485
A _V	54,70	54,54	54,52	53,80	54,22	54,12	54,42	54,44	54,80	55,04
A _V /2P	0,282	0,281	0,281	0,277	0,279	0,279	0,283	0,281	0,282	0,284
A _R	52,72	52,72	52,72	52,72	52,72	52,72	52,72	52,72	52,72	52,72
A _R /2P	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272
M _{ST(V)}	-211,5	-212,3	-212,4	-216,0	-213,9	-214,4	-212,9	-212,8	-211,0	-209,8
max M _{F(V)}	+91,17	+90,90	+90,87	+89,67	+90,37	+90,20	+90,70	+90,75	+91,33	+91,73
M _{ST(R)}	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42
max M _{F(R)}	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	-2,320	-2,336	-2,337	-2,409	-2,367	-2,377	-2,347	-2,345	-2,310	-2,287
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520
C _(V)	0,794	0,806	0,808	0,865	0,832	0,840	0,816	0,814	0,786	0,767
C _(R)	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778

LST	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
P	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	97+Δ	120+Δ	140+Δ
P/Pu	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,6	0,7
A _V	55,10	55,74	55,92	57,70	57,90	57,60	58,40	58,22	74,90	88,58
A _V /2P	0,284	0,287	0,288	0,297	0,298	0,297	0,301	0,300	0,312	0,316
A _R	52,72	52,72	52,72	52,72	52,72	52,72	52,72	52,72	68,05	81,38
A _R /2P	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272	0,284	0,291
M _{ST(V)}	-209,5	-206,3	-205,4	-196,5	-195,5	-197,0	-193,0	-193,9	-225,5	-257,1
max M _{F(V)}	+91,83	+92,90	+93,20	+96,17	+96,50	+96,00	+97,33	+97,03	+124,83	+147,63
M _{ST(R)}	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-221,42	-259,75	-293,08
max M _{F(R)}	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+87,86	+113,42	+135,64
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	-2,281	-2,220	-2,204	-2,043	-2,026	-2,052	-1,983	-1,998	-1,806	-1,742
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,520	-2,290	-2,961
C _(V)	0,761	0,711	0,697	0,555	0,539	0,563	0,499	0,514	0,406	0,379
C _(R)	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778

Tab. 7.4c : Rechenwerte und Versuchsergebnisse

LST	33	36	37	39
P	160+Δ	160+Δ	180+Δ	200+Δ
P/Pu	0,8	0,8	0,9	1,0
A _V	101,73	101,54	111,80	115,52
A _V /2P	0,318	0,317	0,310	0,289
A _R	94,72	94,72	108,05	121,39
A _R /2P	0,296	0,296	0,300	0,303
M _{ST(V)}	-291,35	-292,3	-341,0	-422,4
max M _{F(V)}	+169,55	+169,23	+186,33	+192,53
M _{ST(R)}	-326,42	-316,42	-359,75	-393,08
max M _{F(R)}	+157,86	+157,86	+180,08	+202,31
M _{ST(V)} /max M _{F(V)}	-1,718	-1,727	-1,830	-2,194
M _{ST(R)} /max M _{F(R)}	-2,068	-2,068	-1,998	-1,943
C _(V)	-0,393	-0,408	-0,653	-1,420
C _(R)	0,778	0,778	0,778	0,778

Tab. 7.4d : Rechenwerte und Versuchsergebnisse